

INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES
CURSO DE PROMOÇÃO A OFICIAL SUPERIOR DA FORÇA AÉREA

2007/2008



TII

O TEXTO CORRESPONDE A TRABALHO FEITO DURANTE A FREQUÊNCIA DO CURSO NO IESM SENDO DA RESPONSABILIDADE DO SEU AUTOR, NÃO CONSTITUINDO ASSIM DOCTRINA OFICIAL DA FORÇA AÉREA PORTUGUESA.

**PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO DE
AERONAVES COM BASE EM MONITORIZAÇÃO/
CONTROLO DE CONDIÇÃO**

ALICE DO CARMO DUARTE RODRIGUES
CAP/ENGAER



INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES

**PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO DE AERONAVES COM BASE
EM MONITORIZAÇÃO/ CONTROLO DE CONDIÇÃO**

CAP/ENGAER Alice do Carmo Duarte Rodrigues

Trabalho de Investigação Individual do CPOS/FA 2007/2008

Lisboa 2008



Agradecimentos

Muitos foram os que contribuíram para a realização deste trabalho, pela partilha de informação, experiência e conhecimentos. Refiro-me essencialmente a todos na DMA, agradecendo desde ao director, MGEN Manuel Chambel, pela entrevista determinante para os resultados desta investigação, aos chefes de repartição, gestores de frota e CAP Teresa Cabral pelas respostas ao questionário, recolha de informação e entrevistas concedidas.

Agradeço aos seguintes militares que permitiram a condução do trabalho e alcançar o estado final:

Ao MGEN Narciso e COR Alface pelas entrevistas cedidas.

Ao COR Rui Gomes pela entrevista, revisão e análise crítica do trabalho.

Ao TCOR Lourenço da Saúde, TCOR Paulo Guerra e TCOR José Morgado pelos contactos, orientações e conhecimentos dispensados, que permitiram dar um rumo importante ao trabalho.

Ao meu orientador, MAJ João Nogueira, que me ajudou a fazer o “caminho das pedras” nesta investigação.

Também agradeço à TAP ME pela entrevista concedida pelo Eng.º Vítor Grilo e Eng.º São Pedro e que possibilitou obter a perspectiva de uma organização civil.

Por último, mas com destacada importância, deixo um agradecimento à minha família pelo apoio e compreensão que possibilitaram o meu empenhamento neste trabalho, nomeadamente os meus pais e sogros, meus segundos pais, e especialmente aos meus três “leões”, Miguel, Rafael e Alexandre por serem a minha força e motivação.



Índice

Introdução.....	1
1. Manutenção condicionada	4
a. Enquadramento do conceito	4
b. Sistema de monitorização/controlo da condição	6
c. Na Força Aérea.....	8
2. Problemática da operacionalização de programas de monitorização/controlo de condição na Força Aérea	9
3. Vertentes da exploração dos sistemas de monitorização/controlo de condição	10
a. Gestão da manutenção	11
(1) Organização	11
(2) Recursos humanos	11
(3) Modalidades de gestão	12
b. Sistemas de monitorização/controlo de condição.....	13
(1) Implementação do controlo de condição	13
(2) Configuração dos SM existentes	14
(3) Exploração dos sistemas de monitorização/controlo de condição	14
4. Exploração dos sistemas de monitorização/controlo de condição em órgãos mecânicos de aeronaves realizada por outras organizações	16
a. Aviação Civil.....	16
b. Outros Operadores Militares	17
5. Estratégias para a exploração dos sistemas de monitorização/controlo de condição em órgãos mecânicos de aeronaves	18
Conclusões.....	24
BIBLIOGRAFIA	29
GLOSSÁRIO.....	32
ANEXO A- Conceitos e Indicadores	A1
ANEXO B- Descrição dos módulos da arquitectura e técnicas de um sistema de MC	B1
ANEXO C- Organização da gestão da manutenção	C1
ANEXO D- Entrevistas realizadas	D1
ANEXO E- Recolha informação na gestão dos SA	E1
ANEXO F- Questionário: Questões, Resultados e sua Análise	F1
ANEXO G- Análise de Sistemas De Monitorização de Órgãos Mecânicos Críticos	G1



ANEXO H- Implementação de programas de controlo de condição	H1
---	----

Índice de Figuras

Figura 1- Pontos fortes e fracos dos diferentes tipos de manutenção (Marcus Bentsson, 2004:8).....	5
Figura 2- Variação no tempo de operação e consumo de vida mediante a severidade de utilização (Zakrajsek, 2006?:2)	6
Figura 3- Esquema da arquitectura de um sistema de MC (adaptação de Marcus, 2004).....	7
Figura 4- Representação dos tipos de manutenção (NP EN 13306)	33

Índice de Tabelas

Tabela H 1 Vantagens da Manutenção Condicionada (Cabral, 1998, 218)	H1
Tabela H 2 Exemplo de identificação de avarias com sintomas	H3



Resumo

No contexto da aviação militar onde a operação segura de aeronaves com o mínimo de custos é, cada vez mais, a única forma viável de garantir o cumprimento da missão, a manutenção condicionada, realizada quando há evidências de anomalias em detrimento de um calendário pré-definido, assume uma posição destacada, por permitir a detecção atempada de falhas, bem como a maximização do tempo de operação.

Sustentada no controlo de condição, a detecção das anomalias de um equipamento/órgão realiza-se através da monitorização de parâmetros (vibrações, análises de óleo, temperatura, etc) associáveis a sintomas, permitindo, deste modo, aferir o respectivo estado de “saúde”.

Partindo dessa realidade, este trabalho de investigação pretende analisar os factores determinantes para o controlo de condição em órgãos mecânicos de aeronaves na Força Aérea Portuguesa (FAP). Essa análise realiza-se em várias vertentes, nomeadamente ao nível da gestão da manutenção, respectiva organização, documentação, recursos humanos e sistemas de informação. Outra vertente correspondeu aos objectivos a alcançar com os sistemas de monitorização, e aspectos relacionados com a sua implementação e exploração.

É analisado o panorama internacional em termos de transportadoras aéreas comerciais, onde o controlo de condição é prática corrente, e na aviação militar, onde se verifica um grande investimento em controlo de condição, especialmente em helicópteros pela sua criticidade e devido, em grande parte, ao desenvolvimento tecnológico.

Decorrente da investigação fica reforçada a ideia da centralização da análise da informação monitorizada como garantia de maior eficácia. Verifica-se que os factores organizacionais e de fiabilidade dos sistemas de monitorização são tão ou mais importantes para o sucesso da manutenção condicionada do que a configuração dos mesmos. Também se comprova que os objectivos a atingir com o controlo de condição enquadram-se em qualquer modalidade de gestão, incluindo na gestão de contratos de manutenção. Constatase que a implementação de novos programas se aplica, essencialmente, a órgãos mecânicos críticos, tendo como garantida a sua viabilidade técnica e financeira. Para sustentar esta fundamentação, foram encontradas potenciais dificuldades.

A par destas constatações, são identificadas vulnerabilidades que, embora passíveis de resolução, dificultam um controlo de condição efectivo.



O controlo de condição é apontado como uma actividade que encerra um potencial evolutivo, desde que enquadrada numa estratégia global de gestão da manutenção.

Abstract

In a context where the military aviation safe operation of aircraft with minimal costs is, increasingly, the only way to guarantee the accomplishment of the mission, condition based maintenance held when there is evidence of deficiencies at the expense of a pre-set timetable, takes a prominent position by enabling the timely detection of faults, as well as maximizing the time of operation.

Backed in the condition monitoring, the detection of faults is held by monitoring parameters (vibration, oil analysis, temperature, etc.) related to symptoms, thus allowing the assessment of the state of "health".

Starting from this reality, this piece of research seeks to analyze the determinants for the condition monitoring of mechanical components of aircraft in the Portuguese Air Force (PRTAF).

This analysis was carried out through the definition of statements, related with the maintenance management, organization, documentation, human resources and information applications. On the other hand, the objectives to reach with condition monitoring systems, and aspects related with its implementation and exploration where analyzed.

The international scenario was also analyzed in terms of civil and military aviation, verifying the tendency of investment in condition monitoring especially in helicopters given its criticality and, to a large extent, of technological development.

As a result of the research it was stated that for the analysis of the monitoring information, centralization of this activity is more effective. It was verified that the organizational and reliability factors of the monitoring systems are as important, if not more, for the success of the condition based maintenance as its configuration. It is also proved that the objectives to reach with the condition monitoring are fit in any type of management, including the maintenance contract management.

Finally, the implementation viability of new monitoring systems applies essentially to critical mechanical components, supported by a study to analyze whether it is technically viable and economically justifiable. In this context some difficulties were found to support that study.

There are also some organizational difficulties identified to perform an effective condition monitoring, but with a resolution perspective.



The condition monitoring is pointed out as an activity that contains potential evolution, as long as it is part of a global strategy of maintenance management.

Palavras-chave

Aeronavegabilidade, Controlo de Condição (*condition monitoring*), *Engine Condition Monitoring* (ECM), Gestão da Manutenção, *Health and Usage Monitoring System* (HUMS), Implementação, Manutenção, Manutenção Condicionada (*Condition Based Maintenance*)



Lista de abreviaturas

AC	– Avaliação de Condição
BA	– Base Aérea
CC	– Controlo de condição
CEMFA	– Chefe do Estado-Maior da Força Aérea
CLAFa	– Comando Logístico e Administrativo da Força Aérea
dDMA	– Director da Direcção de Mecânica Aeronáutica
DEP	– Direcção de Engenharia e Programas
DMA	– Direcção de Mecânica Aeronáutica
DMO	– <i>Defense Material Organisation</i>
DMSA	– Direcção de Manutenção de Sistemas de Armas
DoD	– <i>Department of Defense</i>
EASA	– <i>European Aviation Safety Agency</i>
ECM	– <i>Engine Condition Trend Monitoring</i>
EHM	– <i>Engine Health Monitoring</i>
FISS	– <i>Full In Service Support</i>
FMEA	– <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FAP	– Força Aérea Portuguesa
GE	– <i>General Electric</i>
GenHUMS	– <i>Generic HUMS</i>
GQE	– Gabinete da Qualidade e Engenharia
HM	– <i>Health monitoring</i>
HUMS	– <i>Health and Usage Monitoring System</i>
INAC	– Instituto Nacional de Aviação Civil
ISO	– <i>International Organization for Standardization</i>
LCC	– <i>Life Cycle Cost</i>
MC	– Manutenção Condicionada
MD	– Ministério da Defesa
NLR	– <i>National Laboratory Research</i>
QDM	– <i>Quantitative Debris Monitoring</i>
REMAFA	– Regulamento de Manutenção de Aeronaves da Força Aérea
RDA	– Relatório de Deficiências e Anomalias
RFA	– Regulamento da Força Aérea



RNLAF– *Royal Netherland Air Force*

RNLN – *Royal Netherland Navy*

SA – Sistema de Armas

SIAGFA-MGM – Sistema Integrado de Apoio à Gestão da Força Aérea- Módulo de
Gestão de manutenção

SI – Sistema de Informação

SIG – Sistema Integrado de Gestão

SM – Sistema de Monitorização

TAP ME – Transportadora Aérea Portuguesa, *Maintenance & Engineering*

TBM– *Time-Based Maintenance*

TVM– *Transmission Vibration Monitoring*

USAF – *United States Air Force*



Introdução

O paradigma da aviação, civil e militar, consiste na operação segura, garantindo a prontidão dos meios e custos suportáveis. A aviação militar exponencia este paradigma, onde o cumprimento da missão implica preparação para tempo de paz e cenários de guerra, com diferentes tipologias de aeronaves e um leque diversificado de missões, com reflexos na severidade da respectiva utilização.

As novas frotas em operação já vêm equipadas com modernos sistemas de monitorização, tendo em vista programas de manutenção baseados na monitorização/controlo de condição. Muitas outras frotas encontram-se envelhecidas e a respectiva manutenção tende a aumentar, muito embora os orçamentos sigam a tendência inversa. Neste universo, adoptam-se estratégias de monitorização nas aeronaves mais antigas, com resultados visíveis ao nível da prontidão, alargamento do tempo entre revisões e redução de inspecções.

Estas tendências reflectem a preocupação de repensar a manutenção tendo em vista a maximização do potencial das aeronaves, tanto numa perspectiva de maior fiabilidade e segurança como numa perspectiva económica. O controlo de condição, pelo facto de fornecer informação sobre o “estado de saúde” dos sistemas, permite alcançar esses objectivos.

Neste cenário global, a FAP tem uma grande diversidade e quantidade de sistemas de armas (SA), mas todos eles sujeitos às mesmas necessidades e restrições. O resultado é a necessidade de tirar partido das melhores ferramentas à disposição da gestão, numa altura onde a contenção está na ordem do dia, exigindo mudanças e porventura equacionando-as no âmbito da reestruturação em curso.

Este trabalho de investigação pretende ir de encontro a essa mudança, incidindo sobre os programas de monitorização/controlo de condição em órgãos mecânicos de aeronaves da FAP e respectivos sistemas de monitorização.

Os sistemas de monitorização da estrutura das aeronaves para o seguimento de vida de fadiga estão fora do âmbito deste trabalho, bem como o controlo de condição em aviónicos. A análise técnica dos sistemas de monitorização por base o controlo de condição será limitada ao seu impacto no processo de gestão de manutenção. Da mesma forma, não serão efectuados estudos de viabilidade financeira, apenas serão analisados os pressupostos na implementação de um sistema desta natureza.



Partindo desta realidade e olhando para o futuro, este trabalho pretende explorar as potencialidades destes programas em aeronaves que já possuem sistemas instalados, para possível adopção em aeronaves existentes e na definição de requisitos para futuras aeronaves, com o objectivo de potenciar a manutenção condicionada e de forma a traduzir-se numa efectiva redução de custos e aumento da disponibilidade das aeronaves da FAP.

Esta investigação, baseada num método de investigação em ciências sociais¹, incluiu uma fase exploratória (CAP 1) que permitiu definir a seguinte pergunta como questão central:

“De que forma se podem explorar Sistemas de Monitorização/Controlo de condição de Órgãos Mecânicos de Aeronaves considerando a realidade actual e perspectivas futuras para a Gestão da Manutenção?”

Derivando desta questão central surgem as seguintes questões:

- “Como e com que objectivo estão a ser explorados os sistemas de monitorização de órgãos mecânicos das aeronaves na aviação civil e militar?”
- “A implementação, na FAP, de controlo de condição para órgãos mecânicos de aeronaves recorrendo a sistemas de monitorização, justifica-se quando não se encontra prevista pelo fabricante?”
- “A actual organização da gestão da manutenção e os recursos humanos que a compreendem, estão preparados para sustentar a exploração eficaz de sistemas de monitorização para controlo de condição?”

Com estas questões que espelham a problemática em estudo, construiu-se um modelo de análise apresentado no CAP 2, articulando os conceitos em dimensões e indicadores (Anexo A), formulando as seguintes hipóteses:

H1: *A exploração eficaz dos sistemas de monitorização de órgãos mecânicos passa pela centralização da análise da informação monitorizada.*

H2: *A principal limitação à manutenção condicionada de órgãos mecânicos é a configuração dos seus sistemas de monitorização.*

H3: *O controlo de condição enquadra-se em qualquer modalidade de gestão de manutenção adoptada.*

H4: *O controlo de condição de órgãos mecânicos é sempre viável mesmo quando não se encontra previsto pelo fabricante.*

¹ Procedimento metodológico segundo Raymod Quivy e Luc Van Campenhoudt



Para confrontar o modelo de análise com a realidade foram utilizados diversos instrumentos de observação, como um questionário a militares com experiência na gestão de frota, recolha de informação dos Sistemas de Armas (SA), diversas entrevistas e pesquisa documental. Por outro lado, observaram-se outras realidades como TAP ME, Marinha e Força Aérea Holandesas, pesquisa documental e entrevistas via e-mail a entidades externas (CAP 4).

Observada a realidade, a informação recolhida foi comparada com o modelo teórico através da verificação das hipóteses (CAP 5), e dos resultados dessa verificação foram extraídas conclusões.

Corpo de conceitos²

No decurso do trabalho, para além da terminologia disponível no Glossário, são utilizados os seguintes conceitos fundamentais à compreensão do trabalho:

- Controlo de Condição - Actividade de monitorização e avaliação de condição com o objectivo de observar o estado actual de um órgão mecânico.
- Gestão da Manutenção - Todas as actividades de gestão que determinam os objectivos, a estratégia e as responsabilidades respeitantes à manutenção e que os implementam por diversos meios tais como o planeamento, o controlo e a supervisão da manutenção e a melhoria dos métodos na organização, incluindo os aspectos económicos.
- Manutenção Condicionada - Manutenção preventiva baseada na vigilância do funcionamento do sistema e/ou parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as acções daí decorrentes.
- Monitorização da Condição - Recolha de informação e dados que indicam a condição de um órgão mecânico.
- Órgão Mecânico - Sistema com características dinâmicas e designado para desempenhar uma determinada função, tal como transferência e transformação de movimento, força ou energia.
- Sistema de monitorização - Sistema usado no controlo de condição para determinar e calendarizar intervenções de manutenção preditiva, automaticamente ou em interacção com outros sistemas ou humanos (Anexo B).

² Conceitos definidos a partir da NP EN 13306 e ISO 13372



1. Manutenção condicionada

a. Enquadramento do conceito

As actividades de manutenção são geralmente categorizadas em tipos ou estratégias de manutenção, divididas em manutenção preventiva e manutenção correctiva.

A **manutenção preventiva** insere-se num quadro de antecipação à degradação ou falha de componentes e é realizada a fim de evitar a falha do componente e consequente paragem do sistema. Designa-se de **manutenção preventiva sistemática** às intervenções realizadas independentemente do bom funcionamento do equipamento. Este tipo de manutenção baseia-se em intervenções periódicas geralmente por tempo de funcionamento e/ou calendário (TBM, *time-based maintenance*). Em contraposição, a **manutenção correctiva**, também designada de não planeada ou de reactiva, intervém sobre um equipamento, reparando-o, após falha ou avaria.

O principal pressuposto nos modelos de manutenção baseados no tempo é de que a possibilidade de falha de um componente depende inteiramente da “idade” do mesmo. No entanto, estudos mostraram que o TBM utilizado revelava-se inapropriado para a maioria das situações (Amari, 2006:1), resultando num risco de falhas inesperadas e de manutenções desnecessárias.

Na maioria da bibliografia relativa a fiabilidade, o motivo para o incremento da taxa de falhas é explicado pelos efeitos de desgaste, pelo que será mais adequado realizar a manutenção com base no nível de degradação. Este é o conceito de base para os modelos da **manutenção condicionada** (MC).

Enquadrada na manutenção preventiva, a ideia principal da MC é a detecção antecipada das causas ou sintomas de uma falha futura, mediante alertas fornecidos pela **monitorização da condição** de funcionamento e baseada na indicação da degradação de parâmetros de controlo, associados a técnicas tais como vibrações, análises dos óleos, inspecções visuais e parâmetros de funcionamento (ex. temperaturas, impulso, etc.). Toda a actividade é designada de **controlo da condição** (CC).

A remoção para substituição ou reparação é feita quando é realmente necessária, prolongando o tempo de instalação na aeronave e garantindo condições de desempenho e segurança, sendo tratada da forma financeiramente mais eficiente.



No caso da MC incidir na origem de potenciais degradações ou falhas de componentes, diz-se ser Proactiva. Um bom exemplo na FAP é a equilibragem de hélices e rotores, dado que, não sendo a vibração elevada decorrente de desequilíbrio dos hélices ou rotores um indício de falha, se não for tomada nenhuma acção, levará à degradação de outros componentes.

Na Fig.1 são apresentadas, de forma resumida, as vantagens e desvantagens para cada tipo de manutenção.

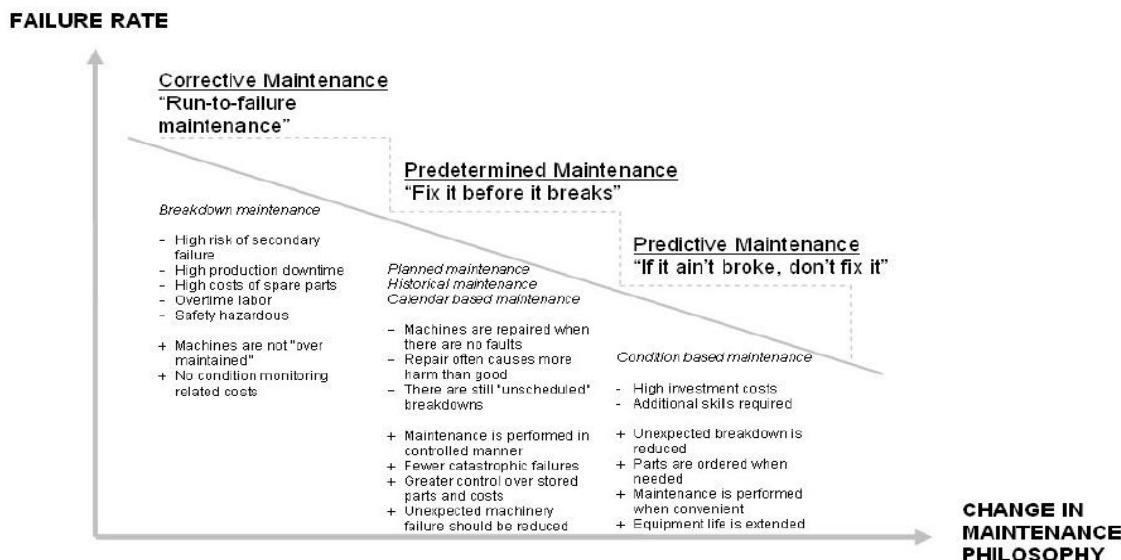


Figura 1- Pontos fortes e fracos dos diferentes tipos de manutenção (Marcus Bentsson, 2004:8)

No âmbito deste estudo serão considerados os órgãos mecânicos, ou seja, os motores, caixas e veios de transmissão. Estes órgãos mecânicos são compostos por componentes (veios, engrenagens, rolamentos, carretos) susceptíveis a falhas, manifestando-se, em cada componente e para cada falha, de forma específica e característica.

Um órgão mecânico, mediante condições de operação mais ou menos severas, poderá desenvolver mecanismos de falha antes ou depois, respectivamente, da sua vida útil estimada (Fig. 2). Assim sendo, o CC pode ir desde a detecção antecipada da falha até ao prolongamento da operação do órgão para além do TBM. Para alcançar este ultimo objectivo, são exigidos SM de grande complexidade, automatismo e fiabilidade.

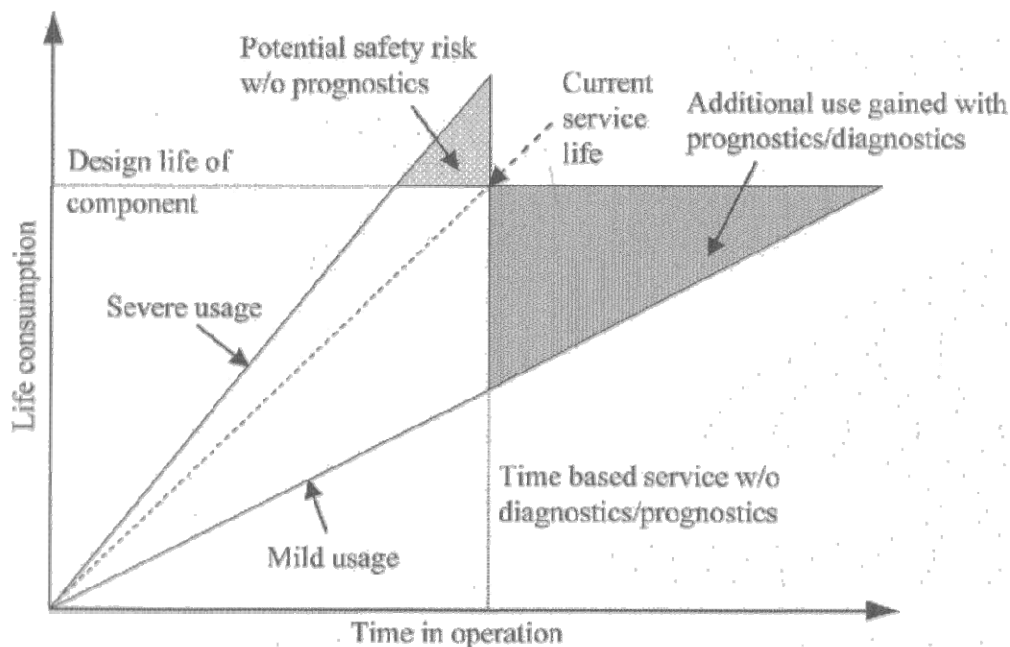


Figura 2- Variação no tempo de operação e consumo de vida mediante a severidade de utilização (Zakrajsek, 2006?:2)

Aeronaves mais recentes compreendem sistemas integrados de monitorização, encerrando um potencial evolutivo para prevalecer a manutenção como conceito.

b. Sistema de monitorização/controlo da condição

Um **sistema de monitorização** (SM) subjacente à MC, compreende a recolha de dados e a sua conversão em acções de manutenção, resultando esta actividade no processo global de CC.

A monitorização pode ser manual, recorrendo a sistemas portáteis de medição, registo manual de dados, ou a partir da recolha de amostras de óleo, ocorrendo a recolha de dados, neste caso, periodicamente. A monitorização também pode ser automática com sistemas instalados permanentemente, podendo a recolha de dados, neste caso, ser contínua ou periódica.

A indicação das actividades decorrentes da condição monitorizada pode ser automática, ou implicar intervenção humana (necessidade de capacidade técnica especializada).

A evolução tecnológica dos SM tem sido visível nos novos SA, nomeadamente em helicópteros, com o HUMS (*Health and Usage Monitoring System*) através de



sistemas integrados, com sensores que monitorizam o estado e utilização dos motores, transmissões, sistema rotor e estrutura detectando e diagnosticando potenciais falhas, falhas actuais, monitorização da utilização, procedimentos automáticos de teste e providenciando alertas para possíveis acções de manutenção.

Dado que, na MC, as decisões de manutenção assentam na informação destes sistemas bem como nos conhecimentos e experiência da intervenção humana no processo, é fundamental conhecerem-se os SM e a suas capacidades, como garante de detecção efectiva de potenciais anomalias e de modo a evitar falsos alarmes que descredibilizam o sistema.

Qualquer que seja a técnica utilizada, o processo desde a observação até à tomada de decisão, obedece a uma arquitectura generalista. Existem algumas diferenças entre arquitecturas apresentadas por vários autores (Marcus, 2004b), não sendo, no entanto, significativas. Baseado na ISO 13374-2:2007, é ilustrado na Fig.3 uma representação esquemática de um SM, descrito de forma detalhada no Anexo B.

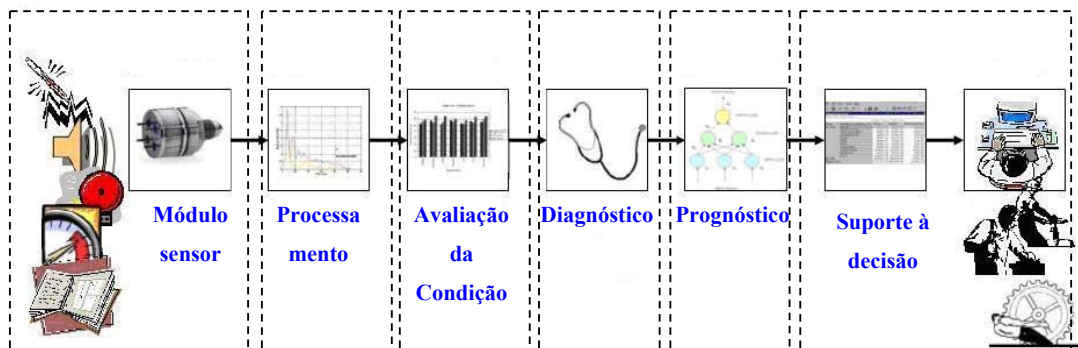


Figura 3- Esquema da arquitectura de um sistema de MC (adaptação de Marcus, 2004)

Todas estas etapas podem ser mais ou menos automatizadas, em função do objectivo da monitorização e da sua criticidade. Todas estas tarefas podem ser compreendidas por analogia ao sistema “corpo humano”. Um técnico da manutenção quando ouve um ruído anómalo num motor (**módulo sensor** - medição do parâmetro), processa o som ouvido (**processamento** - tratamento do sinal para valores físicos) e compara mentalmente com ruídos ditos normais (**avaliação da condição** - análise da evolução e/ou comparação com valores de referência). Da sua experiência, já sabe que é tipicamente do rolamento de apoio traseiro (**diagnóstico** - associação a uma possível falha ou anomalia). Tendo em conta a sua sonoridade, sabe que ainda falta muito para a sua falência (**prognóstico** - previsão da próxima avaria) pelo que ainda poderá operar mais algumas horas (**suporte à decisão** - tradução em acções de manutenção). Pese



embora a validade dos sentidos humanos, estes são pouco rigorosos e dependem da sensibilidade e experiência.

Um sistema de monitorização e controlo de condição de órgãos mecânicos com grande automatismo e fiabilidade é o ideal, embora os seus custos não o sejam, pelo que se tem de equacionar a sua viabilidade.

c. Na Força Aérea

A gestão por SA (Anexo C) integra a parte técnica com a gestão de material de cada aeronave. As características únicas de cada SA, a missão desempenhada, o tempo em operação com reflexos no conceito de projecto e apoio externo disponível (fabricante e operadores), fazem com que existam diversas abordagens à gestão.

A MC é planeada e controlada no CLAFA/DMA, sob a responsabilidade da gestão dos diversos SA em operação na FAP, com o apoio e orientação da Área de Avaliação de Condição (AC) do Gabinete da Qualidade e Engenharia (GQE) para alguns programas de CC.

Esta área pretende, para além de apoiar a gestão de frota nos programas de manutenção do fabricante, dinamizar a MC tendo em vista aumentar a segurança pela detecção atempada de anomalias e contribuir para uma exploração mais racional dos meios, podendo contribuir para uma economia global na sua exploração.

A gestão dos programas de CC encontra-se dividida pelas técnicas utilizadas. Assim, a área de AC do GQE integra a análise de óleos e vibrações. Os ultra-sons (técnica de controlo dimensional) são geridos pela área de Integridade Estrutural do mesmo Gabinete. Já os parâmetros de funcionamento são analisados pelos gestores de frota, salvo em casos excepcionais de acompanhamento³. Esta divisão prende-se com a natureza dos conhecimentos técnicos necessários para a avaliação da condição. Na abordagem proactiva de MC, esta área tem dinamizado as equilibragens de hélices e rotores em todos os SA⁴.

A técnica mais utilizada são as análises de óleo, tendo a FAP Laboratórios de análise⁵ desde 1979. A intervenção das manutenções de aeronaves nas BA's prende-se,

³ Exemplo do *phase out* do SA 330 Puma, com a análise integrada dos SM dos motores

⁴ Realça-se o desenvolvimento do projecto conjunto com a EST- Setúbal, o *VibraPAC*, destinado a equilibragens de hélices e actualmente atribuído ao Épsilon

⁵ Análises espectrométricas e, recentemente, contagem de partículas e teste de presença de água



essencialmente, com a recolha de dados (módulo sensor e processamento) e implementação das acções decorrentes da decisão da gestão.

2. Problemática da operacionalização de programas de monitorização/controlo de condição na Força Aérea

O objectivo da Gestão é conseguir, agregando os diferentes tipos de manutenção nas proporções ideais, um padrão de desempenho a um custo mínimo (Cabral, 1998:45).

A manutenção na FAP assenta fundamentalmente na manutenção preventiva sistemática e correctiva, havendo alguma experiência em programas de CC. Um programa desta natureza implica objectivos e metas bem definidas, conhecer o SM que se deseja explorar, assim como articular as tarefas entre os diversos intervenientes de forma a atingir os objectivos.

Se, por um lado, existe um programa de análises de óleo já consolidado, por outro, a implementação do controlo vibratório nos órgãos mecânicos instalados tem vindo a acontecer na FAP, já com capacidades instaladas para a recolha e análise da informação, mas com menor apoio dos fabricantes⁶.

A diversidade de aeronaves⁷ e configurações de SM, tornam difícil “fazer muito com pouco”. Tem-se investido em SM e na especialização de recursos humanos associados à gestão e na execução das actividades nas BA's. Mas será que se está a tirar o máximo partido das capacidades existentes? O CC constitui uma boa ideia, no entanto, implementar os seus princípios pode ser difícil.

A problemática espelhada consubstancia-se na seguinte questão central, que constitui o fio condutor da investigação:

“De que forma se podem explorar Sistemas de Monitorização/Controlo de Condição de Órgãos Mecânicos de Aeronaves considerando a realidade actual e perspectivas futuras para a Gestão da Manutenção?”

Derivando desta questão central surgem as seguintes questões:

- “A actual organização da gestão da manutenção e os recursos humanos que a compreendem, estão preparados para sustentar a exploração eficaz de sistemas de monitorização para controlo de condição?”

⁶ Os fabricantes prevêm o controlo vibratório em banco de ensaio

⁷ Catorze tipos de aeronaves num total aproximado de 167



- “Como e com que objectivo estão a ser explorados os sistemas de monitorização de órgãos mecânicos das aeronaves na Aviação Civil e Militar?”
- “A implementação, na FAP, de Controlo de Condição para Órgãos Mecânicos de Aeronaves recorrendo a Sistemas de Monitorização, justifica-se quando não se encontra prevista pelo fabricante?”

Tendo em vista as respostas a estas questões, construiu-se um modelo de análise baseado em quadros de teóricos de referência identificados no capítulo anterior, traduzindo os conceitos nas suas dimensões e indicadores (Anexo A).

Com base neste modelo, articularam-se as seguintes hipóteses:

H1: *A exploração eficaz dos sistemas de monitorização de órgãos mecânicos passa pela centralização da análise da informação monitorizada.*

H2: *A principal limitação à manutenção condicionada de órgãos mecânicos é a configuração dos seus sistemas de monitorização.*

H3: *O controlo de condição enquadra-se em qualquer modalidade de gestão de manutenção adoptada.*

H4: *O controlo de condição de órgãos mecânicos é sempre viável mesmo quando não se encontra previsto pelo fabricante.*

Explorar as diversas vertentes que concorrem para o sucesso deste tipo dos programas de CC é o que se pretende com o próximo capítulo.

3. Vertentes da exploração dos sistemas de monitorização/controlo de condição

A análise da gestão manutenção e dos SM/CC, conceitos fundamentais nesta investigação, foram explorados recorrendo a pesquisa documental, entrevistas (Anexo D), recolha de informação junto da gestão de frota (Anexo E) e um questionário. Neste, considerou-se como população os Oficiais da FAP com experiência na gestão de frota e na situação de activo, tendo sido distribuídos 34 questionários⁸. A amostra alvo incidiu praticamente sobre toda a população, tendo sido obtidas 26 respostas.

A informação, seguidamente apresentada, refere-se à observação através de pesquisa documental e entrevistas, organizada segundo os indicadores definidos para os conceitos do modelo de análise (Anexo A). As questões e respostas, bem como análise dos questionários encontram-se no Anexo F.

⁸ Este inquérito foi realizado recorrendo a um site da internet (www.qualtrics.com)



a. Gestão da manutenção

(1) Organização

(a) **Estrutura.** A estrutura actual do órgão gestor da manutenção de aeronaves, DMA, não se encontra actualizada (Anexo C), reflectindo as alterações que foram acontecendo para dar resposta a novas exigências de gestão. Por outro lado, está em curso uma reestruturação da FAP que prevê uma Direcção de Engenharia e Programas (DEP) para além da DMA, futura Direcção de Manutenção dos Sistemas de Armas (DMSA)⁹, não se encontrando até ao momento da entrevista¹⁰, as atribuições definidas para ambas. Segundo opinião do dDMA¹¹, tudo o que tem ver com a prontidão dos SA deverá ficar centralizado na gestão por SA. As actividades que exijam especialização deverão ficar na DEP.

(b) **Documentação.** A documentação enquadrante e de suporte às actividades de gestão, RFA 301-1 e REMAFA, encontram-se desactualizadas, perspectivando-se a actualização do RFA 301-1 no âmbito da reestruturação. Encontra-se em actualização o volume respeitante sistema de gestão da qualidade na FAP (RFA 401-1).

(2) Recursos humanos

(a) **Formação e conhecimentos.** Apesar de não existir nenhum plano de formação para a gestão dos SA, esta é dada mediante a existência de cursos e disponibilidade orçamental. Na área de AC do GQE, a formação em vibrações tem sido assegurada pela certificação em analistas de acordo com a ISO 18436-1:2004. No entanto, de acordo com a experiência da autora, esta formação contém muitos aspectos práticos de aplicação industrial e não aeronáutica, sendo pressupostos consideravelmente distintos, nomeadamente na complexidade da recolha análise e diagnóstico de avarias. Na análise de óleos, tem havido formação para os analistas dos laboratórios, o mesmo não acontecendo para os gestores do programa.

(b) **Experiência.** No respeitante à área de AC, a actual chefe da área¹² identifica, alguma falta de experiência apesar de existirem dois elementos com quase oito anos de experiência, um com quatro anos e outro com menos de um ano. Na gestão das

⁹ Despacho CEMFA N°69/2007

¹⁰ Tópico de entrevista sub-dDMA

¹¹ Tópico de entrevista

¹² Tópico de entrevista



frotas, nem sempre se tem conseguido a continuidade dos seus gestores nas respectivas frotas.

(3) Modalidades de gestão

(a) Objectivo. Existem objectivos estratégicos definidos para a gestão (Dir CEMFA 02/08), como o aumento da disponibilidade dos meios aéreos, bem como a definição da taxa de esforço¹³ para cada SA. Para este objectivos, não se encontram detalhados os mecanismos para os alcançar aos diferentes níveis da estrutura, bem como não existem outros objectivos que os poderiam completar.

(b) Estratégias e tipos de manutenção. A estratégia da gestão para os órgãos mecânicos das diversas frotas é caracterizada por seguir os planos de manutenção do fabricante ou operador (como exemplo, USAF). Para aeronaves com menor apoio do fabricante ou pela sua criticidade existem actividades de monitorização apoiadas pelo GQE. Verifica-se que a gestão dos SA inclui como tipos de manutenção a correctiva, sistemática e condicionada, não existindo nenhum órgão crítico com a MC como conceito principal (informação do Anexo E).

(c) Execução da manutenção. Por um lado, é assegurada pela FAP nas BA's (linha da frente, 1º e 2º escalão) e por entidades externas (geralmente 3º escalão), (RFA 401-1), variando de frota para frota consoante as capacidades instaladas e complexidade da mesma. A outra abordagem é a subcontratação dos serviços de manutenção e respectivo apoio logístico, já contemplado na aquisição do C-295 (designado de FISS, *Full In Service Support*) e em negociação para a manutenção do EH101, já em operação. O FISS apoiado em contratos plurianuais¹⁴ de manutenção, segundo ao dDMA¹⁵, perspectiva-se como o novo figurino para a manutenção dos novos SA na FAP (2º e 3ª escalão), implicando, para a gestão, tarefas de outra natureza.

(d) Sistemas de Informação. O actual Sistema de Informação (SI) de suporte à gestão, SIAGFA-MGM, ainda em fase final de integração de frotas desde 2004, surgiu para substituir a aplicação anterior SIGMA MANUT. O SIAGFA-MGM é uma aplicação concebida para o registo das acções de manutenção, dispondo de indicadores de gestão. Todavia, não se encontra optimizada para a gestão, embora

¹³ Horas de voo programadas para o ano

¹⁴ Sujeito a revisões periódicas

¹⁵ Tópico de entrevista



os requisitos para a optimização estejam identificados pelos gestores. Com o projecto de Sistema Integrado de Gestão (SIG), essa optimização, embora em curso, vê-se limitada pela indefinição sobre o SI em que se vai apostar¹⁶. Para além destes factores, novos SA têm SI próprios, pelo que se identifica a necessidade de criar interfaces para o SI de gestão da FAP.

b. Sistemas de monitorização/controlo de condição

(1) Implementação do controlo de condição

O Controlo de Condição para ser implementável tem de ser tecnicamente viável (indicadores não ambíguos de indicação de falha) e economicamente justificável. Os princípios gerais para a implementação de um programa de controlo de condição, disponíveis no Anexo H, decorrem da pesquisa documental e de entrevistas com gestores e com o chefe da área de AC e serão utilizados na análise que se segue.

(a) Órgãos mecânicos críticos. O CC tem particular interesse em órgãos cujas falhas são críticas ao nível da segurança, com custos de manutenção mais elevados e elevadas taxas de remoção antecipadas (fiabilidade baixa). Neste contexto, existe um grupo crítico pela sua natureza, os helicópteros, cujo sistema propulsivo não é só para a propulsão propriamente dita, mas como fonte primária de sustentação e manobrabilidade do veículo, através de um sistema de transmissão de potência com percursos de carga únicos e críticos sem duplicação ou redundância (Zakrajset, 2006?:1). Considerando os factores atrás referidos e as respostas à recolha de informação junto da gestão de frota (Anexo E, questão 1), foram identificados os órgãos mais críticos, essencialmente caixas de transmissão e motores (Anexo G).

(b) Viabilidade Técnica e Financeira. Da informação identificada como necessária para esta análise, verificou-se que:

- De uma forma geral, não está disponível informação sobre a fiabilidade dos órgãos mecânicos principais, seus materiais constituintes e modos de falha e análise de efeitos (FMEA). No entanto, pode-se realizar o FMEA a partir dos manuais técnicos, histórico de avarias, relatórios de manutenção/reparação e relatório de deficiências e anomalias (RDA)¹⁷.

¹⁶ Tópico de entrevista sub-dDMA

¹⁷ Relatório que acompanha o órgão quando desinstalado para reparação



- No caso da técnica de vibrações, não estando prevista pelo fabricante, é necessária informação para a caracterização dinâmica nem sempre disponível, de acordo com a experiência da autora.
- Não se encontra estimado o custo do ciclo de vida (LCC) das aeronaves da FAP¹⁸, pelo que, um estudo aproximado será mais difícil por não existir uma base metodológica de partida.
- Apresentando o CC como vantagem o aumento da disponibilidade, a margem financeira ficará mais limitada pelo facto dos custos de “não disponibilidade” não serem quantificáveis, pois os benefícios do cumprimento da missão são intangíveis.

(2) Configuração dos SM existentes

Fez-se uma análise do SM existente para cada órgão mecânico crítico (Anexo G), tendo-se constatado o seguinte:

- Automatismo medição e diagnóstico: Cerca de 83% dos SM dependem de intervenção de meios humanos para medição, e 87% para diagnóstico.
- As técnicas menos implementadas são a análise do conteúdo dos filtros (20%) e vibrações (25%).
- Para a mesma tipologia de órgão, existem SM muito distintos, essencialmente pelas técnicas utilizadas;
- Nas caixas de transmissão do EH101 destaca-se o automatismo do parâmetro vibrações (TVM- *transmission vibration monitoring*), não verificado em mais nenhum órgão.

(3) Exploração dos sistemas de monitorização/controlo de condição

(a) Objectivos. Existem objectivos definidos para a exploração como sendo a segurança, a disponibilidade e a redução de custos¹⁹. Outro objectivo é o conhecimento permanente da utilização das aeronaves, assumindo particular relevância no âmbito dos FISS dado que a FAP é que detém a responsabilidade de garantir a aeronavegabilidade sobre estas aeronaves (EASA, 2003a:4). Para assegurar esse controlo, a monitorização da fiabilidade e condição aparecem como tarefas que se devem evitar subcontratar (EASA, 2003b: 6).

¹⁸ Tópico de entrevista COR Alfa

¹⁹ Tópico de entrevista à chefe da AC



(b) Capacidade Técnica. Verificou-se que, por um lado, os SM têm uma grande dependência dos recursos humanos, pelo que é essencial o conhecimento e experiência nessa área. A FAP, mais concretamente a DMA, tem vindo a apostar nessa capacidade, pela criação da área de AC. Em termos de perspectivas futuras, e segundo o MGEN/ENGAER Narciso e o COR/ENGAER Alface²⁰, envolvidos no FISS do C-295 e contrato do EH101, respectivamente, é cada vez mais premente o acompanhamento técnico e especializado das frotas, para garantir capacidade de renegociação de contratos, bem como para novas aquisições.

(c) Apoio de entidades externas. Entre cada SA, o apoio do fabricante é muito diferenciado, até pelo facto da FAP operar com aeronaves recentes e mais antigas. Para estas, o fabricante tem uma reduzida dinâmica de melhoria, não introduzindo novas técnicas de monitorização ou actualizando parâmetros de diagnóstico. No caso do HUMS do EH101, existe uma grande dependência para com o fabricante pois foi ele que concebeu o sistema. Ao nível de software, ainda existem aspectos a corrigir e da experiência obtida até ao momento, a resposta é demorada mas acontece²¹. Outro tipo de apoio refere-se a empresas credenciadas que fornecem serviços de análise de informação monitorizada, nomeadamente parâmetros de funcionamento dos motores (Falcon 50 e C-295). Tem a vantagem da experiência pela acumulação de muita informação, facilitando o refinamento de limites o que permite maior fiabilidade de diagnóstico. No caso do Falcon 50, verifica-se o apoio à decisão em tempo útil, carecendo sempre de confirmação com outros parâmetros controlados pela FAP. Não estão identificados falsos alarmes, mas registaram-se situações de não identificação de degradação da *performance* do motor. No C-295, segundo o Eng.º Walter Morris²², outros operadores que têm efectuado o registo de dados do motor e enviado para análise externa têm tido bons resultados, embora não se tenha confirmado esta informação junto dos mesmos.

²⁰ Tópicos de entrevista

²¹ Tópico de entrevista com um gestor do EH101

²² Tópico de entrevista com representante da *Pratt & Whitney*



4. Exploração dos sistemas de monitorização/controlo de condição em órgãos mecânicos de aeronaves realizada por outras organizações

a. Aviação Civil

A realidade da aeronáutica comercial pauta-se pela operação segura, orientada para a maior disponibilidade possível das aeronaves, dado que os tempos de paragem traduzem-se em custos. Os motores, como órgãos críticos, são monitorizados²³ com sistemas de diversas designações, nomeadamente ECM (*Engine Condition Monitoring*). A manutenção é baseada na condição de funcionamento, à exclusão das peças com vida limitada que têm de ser substituídos ao fim do seu ciclo de vida. Os fabricantes normalmente providenciam softwares de análise dos parâmetros monitorizados. Muitas vezes, os mesmos ou outras empresas dedicadas, oferecem serviços de análise da informação, o *Health Monitoring* (HM), com a vantagem de concentrar a experiência e conhecimento, tendo a adesão de muitos operadores.

Esta actividade tem proporcionado aos operadores aumento da fiabilidade, disponibilidade e redução de custos de operação.

Na TAP ME, o ECM enquadra-se na Manutenção de Aviões, Engenharia e Qualidade, Motores, sendo constituído por uma equipa de sete engenheiros, dois deles dedicados à análise dos dados. Nesta análise, verificam-se as tendências e cruzam essa informação com acções de manutenção efectuadas aos motores, APU's e sistemas de combustível das frotas, numa tentativa de relacionar causa-efeito. Existem, aproximadamente, 60 aviões e cerca de 130 motores (10 modelos diferentes), todos eles com ECM implementados.

Apesar de existir o serviço de HM por parte da *General Electric* (GE), o Eng^o São Pedro²⁴, que desempenha funções nessa área, afirma conseguirem dar um apoio idêntico ou melhor que a GE, com custos inferiores. Refere que a experiência é fundamental para diagnósticos mais rápidos e correctos, e sobre as etapas mais críticas, refere “A análise dos dados é a etapa mais exigente e decisiva, a recolha de parâmetros deve ser precisa o suficiente.”

²³ Parâmetros típicos: rotações do hélice/turbinas, temperatura dos gases, débito de combustível

²⁴ Tópico de entrevista



b. Outros Operadores Militares

Da pesquisa bibliográfica realizada, constata-se uma extrema evolução nesta última década, tanto ao nível da tecnologia associada a cada um dos módulos dos SM (Anexo B), bem como na sua exploração. Como exemplo, o Departamento de Defesa Americano (DoD), numa estratégia de processo de melhoria contínua²⁵, já tem resultados práticos na implementação de MC (*Condition Based Maintenance*, CBM) em helicópteros em operação, como o AH-64, UH-60 *Blackhawk*, CH-47 *Chinook*, com benefícios identificados ao nível da prontidão (~5%), redução de manutenção e revisão de componentes (baixa fiabilidade). O novo conceito é o CBM+, que estabelece a melhoria das práticas da manutenção e logística²⁶. O futuro avião caça, *Joint Strike Fighter* inclui SM integrados para CC. As preocupações identificadas prendem-se na tradução da informação em formato útil para todos os intervenientes no processo logístico (Chandler, 2007).

O Ministério da Defesa (MD) do Reino Unido tem investido tanto na instrumentação desde a concepção, com o HUMS do EH101, como na instrumentação de helicópteros já em operação tais como o *Chinook*, *Sea King*, Puma e *Lynx* (Cook, 2004,1) com o *GenHUMS*.

Dado que os exemplos militares anteriormente apresentados referem-se a uma dimensão que não a Portuguesa, a autora pesquisou, através de contactos da gestão de frota junto da Marinha e Força Aérea Holandesas (RNLN e RNLAf), o tipo de conceitos adoptados e desenvolvidos por eles. Dependente da componente aérea do *Defence Material Organisation* (DMO) do Ministério da Defesa (MD), a RNLN tem capacidades de engenharia de manutenção com tarefas que incluem a melhoria de conceitos de manutenção. Têm um projecto por eles desenvolvido para a monitorização do consumo de vida da estrutura e motor, o AIDA, com apoio do *National Laboratory Research*²⁷ (NLR) para desenhos, cálculos (algoritmos) e certificação dos sistemas de monitorização. A RNLAf, tem instrumentados helicópteros (*Cougar* e *Chinook*) com o *GenHUMS*, sendo apoiada pela NLR para análise da informação.

²⁵ Tópico de conferência, David Pauling

²⁶ Tópico de conferência [AFD-060831-040]

²⁷ O NLR não depende do MD



5. Estratégias para a exploração dos sistemas de monitorização/controlo de condição em órgãos mecânicos de aeronaves

A realidade observada e apresentada no capítulo anterior, será agora utilizada para testar as relações teoricamente esperadas, formuladas em hipóteses, no sentido de responder às questões derivadas e, finalmente, ao problema traduzido na pergunta de partida:

“De que forma se podem explorar sistemas de monitorização/controlo de condição de órgãos mecânicos de aeronaves considerando a realidade actual e perspectivas futuras para a gestão da manutenção?”

H1: *A exploração eficaz dos sistemas de monitorização de órgãos mecânicos passa pela centralização da análise da informação monitorizada*

A eficácia acontece quando os resultados obtidos com o CC forem de encontro com os objectivos da gestão.

Dado que esta hipótese corresponde à actual organização (gestão de frotas apoiadas pela AC do GQE na análise de informação monitorizada, respeitante ao módulo de avaliação de condição e diagnóstico), começou-se por analisar o questionário aos gestores e a entrevista à chefe da área de AC, verificando-se que, a grande maioria, concorda com a gestão por SA com centralização de actividades comuns a todas as frotas incluindo as áreas de conhecimento especializado (Q19, Q20, 88%). Contudo, apesar da maioria (Q14, 40%) considerar que a área de AC do GQE dá o apoio necessário à gestão de frota, existe uma grande percentagem que não sabe se existe este apoio (Q14, 36%)²⁸.

A percentagem que considera que não é dado apoio pela AC (Q14, 24%), justificaram que, apesar ser de qualidade, é limitado para dar resposta a todas as frotas essencialmente pela falta de meios humanos para tantas solicitações, falta de informação e formação dos SA, dispersão nas tarefas e nos horizontes temporais (Q15).

Analisado o questionário, procurou-se, com a restante informação (CAP 3), sustentar a tendência observada, tendo-se identificado vulnerabilidades (§3) na exploração dos SM, e na gestão da manutenção ao nível da organização, recursos humanos, objectivos das modalidades de gestão e SI.

²⁸ Alguns inquiridos não exercem funções de gestores desde o tempo de criação da AC do GQE



A situação de excepção no apoio à exploração dos SM, o Falcon 50, onde a análise da informação é centralizada numa entidade externa com resultados satisfatórios, vai ao encontro da hipótese definida.

Outro aspecto a considerar é o figurino adoptado pelas transportadoras aéreas civis, nomeadamente a TAP, onde a centralização da análise é a abordagem mais comum, bem como na RNLAf, onde a análise é efectuada no NLR e internamente na RNLN.

Ponderando as vulnerabilidades identificadas face à restante informação verificada, comprova-se que *a exploração eficaz dos sistemas de monitorização de órgãos mecânicos passa pela centralização da análise da informação monitorizada*, dado que as vulnerabilidades identificadas são estruturantes, o que afecta qualquer modalidade de acção adoptada. As experiências da aviação comercial e outros operadores militares, foram determinantes para consolidar a tendência já apontada pelos gestores no questionário, embora na primeira exista um claro suporte dos fabricantes, e na aviação militar, um investimento desde a estrutura de topo do Ministério da Defesa.

H2: A principal limitação à manutenção condicionada de órgãos mecânicos é a configuração dos seus sistemas de monitorização.

Quando os gestores foram questionados relativamente aos obstáculos à MC (Q18), os factores identificados com maior importância referiram-se à “pouca flexibilidade da organização da manutenção” e “falta de verbas para investimento”. O sub-dDMA²⁹ confirma que os recursos financeiros são muito limitados.

Os “SM e diagnóstico pouco fiáveis” ficou em 4º lugar de 7 factores (Q18) e em 2º lugar a “falta de conhecimentos técnicos para o diagnóstico”. Para sustentar esta opinião recolhida, verificaram-se os conhecimentos dos gestores, sendo que, em relação aos conhecimentos da configuração dos SM, a moda foi de 7 (Q7, min-0; Max-10).

Para validar esta tendência, partiu-se para a análise da configuração dos SM de alguns órgãos mecânicos críticos identificados nas aeronaves da FAP (Anexo G), verificando-se:

- Grande intervenção humana na medição e diagnóstico, traduzindo-se em processos mais morosos e implicando, nomeadamente no diagnóstico, grande experiência no conhecimento de parâmetros monitorizados dos órgãos em análise (3.b.(3)). Assim,

²⁹ Tópico de entrevista



as capacidades técnicas dos recursos humanos são um factor importante na configuração dos SM.

- Sistemas mais modernos, como o TVM do EH101 com perspectivas de adoptar a MC como conceito principal, apontam para um maior automatismo e fiabilidade de diagnóstico³⁰. Não obstante estas capacidades, um dos maiores obstáculos é a capacidade de fornecimento a pedido, característica da MC.

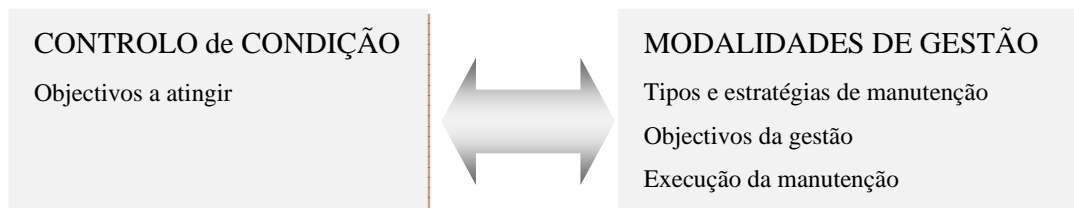
Da pesquisa efectuada a outros operadores militares, o objectivo a atingir na USAF com o CBM+, abre pistas à necessidade de melhor integração da MC no processo global logístico.

Desta forma, considera-se que *a principal limitação à manutenção condicionada de órgãos mecânicos não é necessariamente a configuração dos seus sistemas de monitorização.*

Para basear a manutenção de órgãos mecânicos em manutenção condicionada será mais determinante a sua fiabilidade do que a sua configuração. Existem factores organizacionais, tal como apontado pelo questionário e até mesmo pelo especialista do HUMS da *Westland*³¹, em que o fornecimento logístico “a pedido” tem de ser assegurado. Nesse sentido, todos os factores envolvidos na MC, desde a implementação e exploração dos SM, logística e organização da manutenção, terão de ser devidamente analisados para verificar a sua importância relativa.

H3: *O controlo de condição enquadra-se em qualquer modalidade de gestão de manutenção adoptada.*

Para testar a veracidade desta hipótese, verificaram-se se os objectivos a alcançar com o CC correspondiam em todo o espectro das modalidades de gestão, caracterizadas no modelo em estudo com os seguintes indicadores:



³⁰ Tópico de entrevista com gestor EH101

³¹ Tópico de entrevista por *email* Engº Mike Horsey



Objectivos a atingir com o CC:

- O objectivo principal de um CC para o director da DMA³² é o aumento da segurança na operação dos meios, sendo coincidente com o objectivo com mais peso atribuído pelos gestores de frota (Q10) e pela área de AC³³.

Caracterização das Modalidades de Gestão:

- Os gestores identificam a necessidade de incluir a MC (Q9, 88%) como estratégia de optimização da gestão de frota. Aliás, o CC é parte integrante dos tipos de manutenção praticados nos órgãos críticos;
- O objectivo identificado para a gestão é o da disponibilidade (Dir CEMFA 02/08), como já analisado para a H1;
- Para o actual formato de execução da manutenção assim como os que se prevêem (caso do FISS), existe a necessidade de explorar os programas de CC, como actividade fundamental no controlo de aeronavegabilidade.

Verifica-se que a segurança, como o objectivo com maior destaque para a utilização do CC, não coincide com os objectivos da gestão formalmente identificados (disponibilidade). No entanto, o aumento da disponibilidade surge em 2º (Q10) e se entendermos a segurança como um objectivo permanente podemos evidenciar coerência nos objectivos.

A potencial vulnerabilidade identifica-se nas novas tarefas que se prevêem para a área da gestão de manutenção, com a futura gestão de contratos, onde se verifica a necessidade de monitorizar a condição, com o objectivo “caracterizar a utilização” mais destacado. Este objectivo de exploração do CC, juntamente com a análise de fiabilidade foram os que tiveram menos importância no questionário (Q10).

Esta incoerência de resultados justifica-se pelo facto dos gestores ainda não terem contacto com esta realidade pelo que, pode-se comprovar que o *controlo de condição enquadra-se em qualquer modalidade de gestão de manutenção adoptada*. É necessário, no entanto, enquadrar a monitorização da condição nas tarefas de gestão e no controlo de aeronavegabilidade no âmbito da subcontratação de serviços a entidades externas.

H4: *O controlo de condição de órgãos mecânicos é sempre viável mesmo quando não se encontra previsto pelo fabricante.*

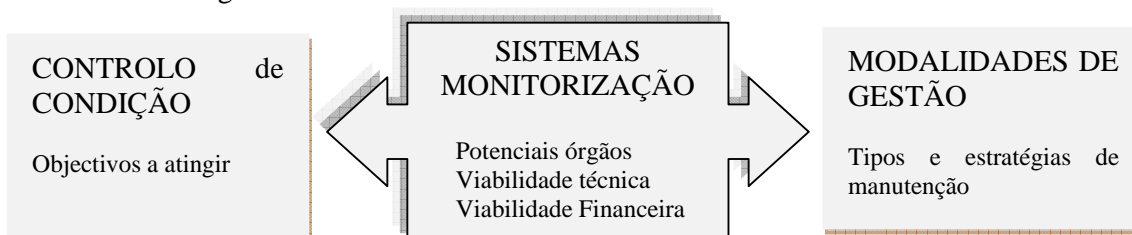
³² Tópico de entrevista

³³ Tópico de entrevista



O CC só é possível recorrendo a SM's. Nesse sentido, a viabilidade terá de se verificar ao nível da implementação dos mesmos, excluindo a análise da exploração dos SM actuais.

Para um CC ser viável, os seus objectivos terão de estar enquadrados nas modalidades de gestão.



– O CC e as modalidades de gestão

Na H3 comprovou-se que o CC era aplicável a qualquer modalidade de gestão adoptada. A reforçar esta ideia, os gestores consideram (Q21, 96%) que existe margem para programas de melhoria para além do que se encontra previsto pelo fabricante.

– Viabilidade na implementação de SM

Segundo o dDMA³⁴, o objectivo de melhorar as condições de segurança já fundamenta estas iniciativas. Também terão o seu apoio propostas que impliquem maiores investimentos mediante análises de viabilidade técnica e financeira. Apesar de 68% (Q12) dos inquiridos afirmarem saber fundamentar uma proposta de implementação, não foram encontrados estudos nesse sentido. No Anexo H, foram definidas as condições e informação para um estudo de viabilidade. Da sua análise e considerando a realidade observada na FAP, constatou-se que:

- Faz sentido limitar o CC a órgãos críticos pelos custos inerentes à própria instrumentação ou processo de recolha de dados e posterior tratamento.
- A viabilidade técnica implica que as técnicas utilizadas permitam detectar os sintomas de falhas iminentes dos órgãos, pelo que, se não existir informação para sustentar um diagnóstico, não se verifica essa viabilidade. Nesse sentido, identificam-se limitações associadas à disponibilização de informação técnica pelo fabricante.
- Há informação para a análise de viabilidade financeira, embora dispersa. A margem de benefício de um CC fica limitada pelo facto de não ser possível quantificar o “prejuízo” do não cumprimento da missão.

³⁴ Tópico de entrevista



Esta hipótese é refutada pois não é garantida a sua universalidade, considerando que:

- Um controlo de condição aplica-se essencialmente a órgãos mecânicos críticos.
- Um programa de CC carece sempre de uma análise técnica e financeira, sob pena de se traduzir num custo adicional.
- O estudo de viabilidade implica informação, que nem sempre está disponível.



Conclusões

Um programa de controlo de condição em órgãos mecânicos de aeronaves concorre, decididamente, para o paradigma da aviação: operação segura e optimização dos custos.

O princípio da manutenção condicionada, na qual se insere a actividade de controlo de condição, é a detecção antecipada das falhas a fim de serem tratadas da forma financeiramente mais eficiente antes da sua ocorrência. Neste contexto, a remoção dos órgãos realiza-se apenas quando é realmente necessária para substituição ou reparação, antecipando potenciais falhas graves ou prolongando o seu tempo de instalação na aeronave.

Para o efeito, tem de se medir as causas ou sintomas dessas potenciais falhas, verificar se são aceitáveis e controlar a sua evolução até à intervenção. Desta detecção antecipada decorrem benefícios como aumento da segurança, disponibilidade e redução de custos de operação.

O que permite esta abordagem são os sistemas de monitorização que garantem a recolha (medição do parâmetro), processamento (tratamento da amostra ou sinal para valores físicos), avaliação da condição (análise da evolução e/ou comparação com valores de referência), diagnóstico (associação a uma possível falha ou anomalia), prognóstico (previsão da próxima avaria) e apoio à decisão (tradução em acções de manutenção). Cada um destes módulos pode ter uma maior ou menor intervenção humana.

Na FAP existem cenários muito distintos. Aeronaves mais recentes compreendem sistemas integrados de monitorização, encerrando um potencial evolutivo para passar de preventiva sistemática (revisões a intervalos fixos) para manutenção condicionada (inspecções a intervalos fixos), caso do EH 101. Nas aeronaves mais antigas em operação na FAP, os parâmetros são recolhidos periodicamente, por exemplo com sistemas de monitorização portáteis de vibrações, recolhas periódicas de óleo, etc.

A MC tem o enquadramento da sua actividade no CLAFA/DMA tanto na gestão da manutenção dos SA (parâmetros do motor), como também na área de Avaliação de Condição (AC) do Gabinete da Qualidade e Engenharia (GQE) para as técnicas de análises de óleo e vibrações.

A caracterização exploratória espelhada no CAP 1, permitiu clarificar a problemática conducente à presente investigação. Assim sendo, averiguou-se de que forma



se poderiam explorar estas capacidades humanas e materiais existentes na FAP face aos diferentes objectivos a alcançar com o controlo de condição e diversidade dos SA.

O CAP 2, para além da questão central, apresenta outras que dela derivam, bem como as hipóteses formuladas a partir do modelo construído em várias vertentes dos conceitos em análise, nomeadamente ao nível da gestão da manutenção, respectiva organização, documentação, recursos humanos e SI. Outra vertente correspondeu aos objectivos a alcançar com os sistemas de monitorização, e aspectos relacionados com a sua implementação e exploração.

Para a condução da investigação, produziu-se um questionário dirigido a militares com experiência na gestão dos SA para avaliar as suas perspectivas nessa área e organização subjacente, bem como os conhecimentos sobre manutenção condicionada. A complementar este questionário, foram inquiridos os gestores e chefes de repartição sobre as particularidades de cada SA, bem como especialistas dos sistemas de monitorização. A pesquisa de *papers* na internet foi fundamental, dado que a bibliografia relativa a controlo de condição em aeronáutica é escassa e pouco acessível. Os resultados encontram-se retratados no CAP 3.

A manutenção em transportadoras aéreas comerciais, analisada no CAP 4, permitiu aferir que a manutenção condicionada prevalece como conceito nos motores, com muitas transportadoras a adoptarem a análise da informação monitorizada nos próprios fabricantes, através de serviços por eles proporcionados. A TAP confirma esta tendência, adoptando a condução do processo de análise internamente, com sucesso. A grande diferença identificada para o caso da aviação militar é que o fabricante proporciona as ferramentas básicas para tratamento dos dados, nomeadamente sistemas de monitorização e software. Para os casos da aviação militar retratados no CAP 4, tem-se verificado a tendência para o investimento em controlo de condição em órgãos mais críticos como sendo os dos helicópteros, facto possível pelo desenvolvimento dos sistemas de monitorização, que, embora ainda em amadurecimento, já permitem obter resultados práticos positivos.

Observada a realidade, confrontou-se esta com as hipóteses formuladas, tendo sido retiradas conclusões determinantes para o rumo do controlo de condição na FAP.

Verificou-se que *a exploração eficaz dos sistemas de monitorização de órgãos mecânicos passa pela centralização da análise da informação monitorizada*, tendência apontada pelos gestores no questionário e pela aviação comercial. Esta é a realidade na qual a FAP (CLAF/DMA) já tem apostado, investindo em capacidade técnica e sistemas



de monitorização. Identificaram-se, no entanto, vulnerabilidades importantes pelo facto de serem estruturantes na organização e que dificultam a actividade de gestão e, por conseguinte, um controlo de condição efectivo, como sendo:

- a documentação enquadrante das actividades de gestão está desactualizada e em termos doutrinários é escassa e igualmente desactualizada. Os objectivos definidos pelo CEMFA, embora claros, não se encontram complementados por outros aos diferentes níveis da estrutura, não se encontrando igualmente definidos os mecanismos para os alcançar;
- não existem planos de qualificação de pessoal da gestão da manutenção, sendo ministrada consoante os cursos e financiamento disponíveis;
- o SI de suporte à actividade de gestão SIAGFA-MGM, apesar de conter muita informação e indicadores úteis, necessita ser adequado à gestão, bem como ter assegurada a ligação a plataformas existentes de outras aeronaves;
- falta de apoio do fabricante, na generalidade dos casos, na disponibilização de programas e ferramentas certificadas para controlo de condição.

Por outro lado, constatou-se que a *principal limitação à manutenção condicionada de órgãos mecânicos não é, necessariamente, a configuração dos seus Sistemas de Monitorização*. Mais do que a sua configuração é a sua fiabilidade, traduzindo-se na necessidade de capacidade técnica. Foram identificados como factores determinantes factores organizacionais, tal como o fornecimento logístico “a pedido” e flexibilidade da manutenção.

Comprovou-se que o *controlo de condição enquadra-se em qualquer modalidade de gestão de manutenção adoptada*, incluindo nas tarefas de gestão associadas ao controlo de aeronavegabilidade no âmbito da subcontratação de serviços a entidades externas. Comprovou-se igualmente a pertinência da monitorização da condição, sendo que a existência de capacidade técnica na área permite renegociar contratos, incluindo cláusulas de melhoria com base na fiabilidade dos sistemas. Outra perspectiva no desenvolvimento de conhecimentos nessa área é a da definição de requisitos de operação e sustentação para novos SA, através da maior fundamentação na tomada de decisões.

A observação efectuada também permitiu verificar que *quando não se encontra previsto pelo fabricante, o Controlo de Condição de Órgãos Mecânicos não é sempre viável*. Um controlo de condição aplica-se, essencialmente, a órgãos mecânicos críticos tendo de ser verificada a viabilidade técnica e financeira. Este aspecto tem maior



relevância quando os objectivos do controlo de condição vão para além do aumento da segurança, nomeadamente, prolongar a instalação dos órgãos para além do TBM. A informação para um estudo sustentado poderá ser difícil alcançar, principalmente sem o apoio do fabricante.

Em suma, a FAP que já tem vindo a apostar em capacidades humanas e materiais necessárias à MC de órgãos mecânicos, encontra na sua actual organização um bom ponto de partida. No entanto, terá de ser melhor explorada, apoiada em termos de recursos humanos e financeiros, e melhor coordenada com a gestão de frota, até porque existem órgãos susceptíveis de controlo de condição, que vão de encontro aos actuais objectivos de gestão identificados e futuros (gestão de contratos). Para o efeito, é fundamental uma definição clara dos objectivos, metas e modalidades de acção, bem como a correcção das vulnerabilidades organizacionais identificadas. Novos projectos de implementação de sistemas de monitorização têm fundamento para órgãos críticos, tendo de ser garantidas as condições para o sucesso da sua implementação em termos de viabilidade técnica e financeira.

Decorrentes das conclusões deste trabalho de investigação, recomendam-se as seguintes acções:

a) Ao EMFA:

- (1) Elaborar documentação doutrinária na área da gestão de manutenção;
- (2) Incluir na aquisição de novos SA, uma cláusula contratual de renegociação baseada na melhoria, com benefícios de ambas partes, e fundamentada na fiabilidade dos sistemas;
- (3) Ainda em futuras aquisições, solicitar informação da fiabilidade, FMEA e constituição dos materiais relativamente a componentes principais;
- (4) Definir, aquando da aquisição dos SA, os respectivos custos do ciclo de vida.

b) Ao CLAFA:

- (4) Definir, a partir das directivas do CEMFA, os objectivos operacionais, metas e mecanismos a adoptar para os alcançar.

c) Ao CLAFA/DMA:

- (1) Elaborar um plano de qualidade da Direcção, incluindo a formação necessária à gestão;
- (2) Caracterizar os programas de monitorização, incluindo seguimento de vida de fadiga, em termos de capacidades técnicas necessárias e apoio do



fabricante, tendo em vista suportar, no âmbito da reestruturação, a existência de uma área responsável de monitorização da condição com objectivos bem definidos e devidamente quantificada em termos de recursos humanos;

- (3) Caracterizar os órgãos mais críticos e desenvolver os respectivos estudos de viabilidade tendo em vista a introdução de melhorias nos conceitos de manutenção;
- (4) Definir uma estratégia para o SI da gestão da manutenção e priorizar a sua implementação.

d) Ao CLAFA/DMA/GQE:

- (1) Reavaliar os programas de CC em curso e definir indicadores de eficácia com base no Anexo H.

Em termos nacionais, a FAP contribui em larga escala para a aviação nacional, sendo, porventura, o maior “consumidor” de novas tecnologias na área de Controlo de Condição. O conhecimento aqui investido permitirá que a FAP seja um “utilizador inteligente”, potenciando, eventualmente, o desenvolvimento de novas tecnologias ao nível nacional, se existir uma definição estratégica nesse sentido.

Com o amadurecimento das tecnologias, o futuro a médio/longo prazo vai no sentido de aplicar a manutenção condicionada onde actualmente a preventiva sistemática é “sagrada”, garantindo elevados níveis de segurança na operação e redução de custos de operação. Cabe-nos a nós, FAP, indicar e fundamentar qual o melhor caminho a seguir, criando, deste modo, condições para um futuro sustentado.



BIBLIOGRAFIA

Livros

- Cabral, José Paulo Saraiva (1998). *Organização e Gestão da Manutenção, dos Conceitos à Prática*. 4ª ed., revista e aumentada. Lisboa: Lidel-Edições técnicas, Lda.
- FERREIRA, Luís Andrade (Março de 1998), *Uma introdução à manutenção*, Publindústria Edições Técnicas

Publicações Militares

- Despacho nº 02/08 (2008) do Chefe do Estado-Maior da Força Aérea. Lisboa: FAP
- Despacho nº 69/07 (2007) do Chefe do Estado-Maior da Força Aérea. Lisboa: FAP
- RFA 401-1 (1981). Regulamento de Manutenção de Aeronaves da Força Aérea (REMAFA). Alfragide: FAP.
- RFA 303-1 Volume VI (A) (1986). Organização do CLAFA. Lisboa: FAP.

Publicações Civas

- EASA, Jornal Oficial da União Europeia, Regulamento (CE) N°2042/2003 da comissão relativo à Aeronavegabilidade das Aeronaves (...), [referência de 28 de Novembro de 2003a]
- EASA, ED Decision. 2003/19/RM, 28NOV 2003b
- Aircraft Technology Engineering & Maintenance, Paris 2007 Special, *Time for a health check engine condition monitoring*, pp. 80-84.
- ZAKRAJSEK, James et. al, 2006?, *Rotorcraft Health Management Issues and challenges*, NASA/TM

Internet

- AMARI, Suprasad V., MCLAUGHLIN, Leland, PHAM, Hoang, 2006, *Cost-Effective Condition-Based Maintenance Using Markov Decision Process*, disponível em http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=1677417&isnumber=34933
- Air Transport World, Maintenance, Janeiro 2008, *Raising the MRO IQ*, pp. 54,56, disponível em <http://www.atwonline.com/channels/aircraftEquipment/article.html?articleID=2180>



- BENGTTSSON, Marcus, 2003, *Standardization Issues in Condition Based Maintenance* Proceedings of the 16º International Congress,
- BENGTTSSON, Marcus, 2004a, *Condition Based Maintenance System Technology- Where is Development Heading?*, Proceedings of the 17º European Maintenance Congress
- BENGTTSSON, Marcus, 2004b, *Condition Based Maintenance Systems- An Investigation of technical Constituents and Organizational Aspects*, Malardalen University Licenciate Thesis, No. 36
- CHANDLER, Jerome Greer, JAN 2007, *Condition Based Maintenance*, Aviation Week, artigo disponível em <http://www.aviationweek.com/aw/generic/story_channel.jsp?channel=mro&id=news/COND01037.xml>
- COOK, Jonathan, GOURLAY, Commander James, BOARMAN, Squadron Leader Lawrie, 2004, *Contrasting Approaches to the Validation of Helicopter HUMS- A Military User's Perspective*, 2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings. Acessível a partir de <<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/9422/29905/01368193.pdf?tp=&isnumber=&arnumber=1368193>>
- DAVID, Tiago, JAN-MAR 2005, *Estratégias de Manutenção*, Instituto da Soldadura e Qualidade, nº 51, pp. 37-39, disponível em <www.isq.pt/images/PDF/tq51.pdf>
- MIIT, *Controlo de Condição e manutenção Baseada na Fiabilidade*, disponível em <83.240.136.253/Miit/Portals/0/Inspecao/Documentos/Controlo%20Condição%20Baseado%20na%20Fiabilidade.pdf>
- SIOPA, Jorge Peralta, SILVA, Júlio Montalvão, 2005?, *Implementação e Optimização de Sistemas de Controlo de Condição (Métodos de Apoio à Decisão)*, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engª Mecânica, disponível em: <<http://www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/mecanica/415.PDF>>

Normas

- ISO 13372:2004(E) *Condition Monitoring and diagnostics of machines -Vocabulary*
- ISO 13373-1, *Condition Monitoring and diagnostics of machines- Vibration condition monitoring, Part 1- General procedures*, 1ed. 15-02-2002



- ISO 18436-1:2004 *Condition monitoring and diagnostics of machines -- Requirements for training and certification of personnel -- Part 1: Requirements for certifying bodies and the certification process*
- Norma Portuguesa NP EN 13306, Setembro 2007

Entrevistas e Conferências

- Tópico de Entrevista: Programas de Controlo de Condição na FA, com o Sr. MGEN Chambel, no CLAFA, em Alfragide, 04 de Janeiro de 2007.
- Tópico de Entrevista: Programas de Controlo de Condição nos novos contratos, com o Sr. MGEN Narciso, no CLAFA, em Alfragide, Fevereiro de 2007.
- Tópico de Entrevista: Reestruturação do CLAFA e Sistemas de Informação, com o Sr. COR Gomes, no CLAFA, em Alfragide, Fevereiro de 2007.
- Tópico de Entrevista: Programas de Controlo de Condição nos novos contratos, com o Sr. COR Alface, no CLAFA, em Alfragide, Fevereiro de 2007.
- Tópico de Entrevista: Programas de Controlo de Condição na FA, com o Sra. CAP Teresa Cabral, no CLAFA, em Alfragide, Março de 2007.
- Tópico de Entrevista: Implementação da Manutenção Condicionada no EH101, com o Sr. TEN Pinto, no CLAFA, em Alfragide, Março de 2007.
- Tópico de Entrevista: Controlo de condição aos motores, com o Engº Vítor Grilo e Engº São Pedro, na TAP ME, em Lisboa, 30 de Novembro de 2007.
- Tópico de Entrevista: HUMS do EH101, com Engº Mike Horsey (Westland Helicopters Ltd), via email, em Alfragide, Março de 2007.
- Tópico de Entrevista: Monitorização do motor do C-295, com Engº Walter Morris (EADS CASA), via email, em Alfragide, Março de 2007.
- Tópico de conferência: AFD-060831-040- *Condition Based Maintenance Plus*, disponível em <<http://www.af.mil/shared/media/document/AFD-060831-040.pdf>>
- Tópico de conferência: AFD-060831-041 *Expeditionary Logistics for the 21st Century Campaign Plan*, USAF disponível em <<http://www.af.mil/shared/media/document/AFD-060831-041.pdf>>
- Tópico de conferência: *Sustained Readiness via Continuous Process Improvement* (CPI), David Pauling, 2006, ADUSD (MR&MP) disponível em <<http://techcon.ncms.org/Symposium2006/presentations/2006%20Presentations/plenarySession/pauling%20ctma%20brief%20mar%2006.pdf>>



GLOSSÁRIO³⁵

- **Aeronavegabilidade** - capacidade demonstrada por uma aeronave, subsistema ou componente de uma aeronave de funcionar satisfatoriamente, quando utilizados dentro dos limites especificados.
- **Anomalia** - condição de um componente ou conjunto de componentes se degradam ou exibem um comportamento anormal, o que pode levar à falha de um equipamento.
- **Ciclo de vida** - intervalo de tempo que se inicia com a concepção de um sistema e termina com a sua eliminação.
- **Configuração** – características funcionais e físicas tal como estão descritas na documentação técnica.
- **Custo de ciclo de vida** – todos os custos gerados durante o ciclo de vida (para um utilizador ou proprietário, o custo total do ciclo de vida poderá incluir os custos relativos à aquisição, operação, manutenção e eliminação).
- **Diagnóstico** - análise de sintomas e síndromes para determinar a natureza das anomalias ou falhas.
- **Disponibilidade** - aptidão de um sistema para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, num dado instante ou num intervalo de tempo, assumindo que é assegurado o fornecimento dos necessários recursos externos.
- **Eficácia de manutenção** - relação entre o objectivo da manutenção e o resultado obtido.
- **Estratégia de manutenção** - método de gestão utilizado para atingir os objectivos da manutenção.
- **Falha** - fim da capacidade de um item de desempenhar uma função requerida.
- **FMEA (*failure mode and effects analysis*)** - procedimento estruturado para determinar as funções de um sistema e falhas funcionais, com cada falha a ser relacionada a uma causa e os efeitos da falha no sistema.
- **FMECA (*failure mode effects and criticality analysis*)** - FMEA com um processo de classificação baseado na severidade das anomalias.

³⁵ Conceitos baseados na NP EN 13306, ISO 13372 e Procedimentos da Qualidade na Manutenção



- **Fiabilidade** - probabilidade de um dado sistema, subsistema ou componente funcionar bem nas condições especificadas de operação, num determinado período de tempo.
- **Gestor de frota** – função atribuída à(s) pessoa(s) responsáveis pela gestão da manutenção de uma aeronave.
- **Manutenção** - Combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um sistema funcional, órgão mecânico ou componente, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida.

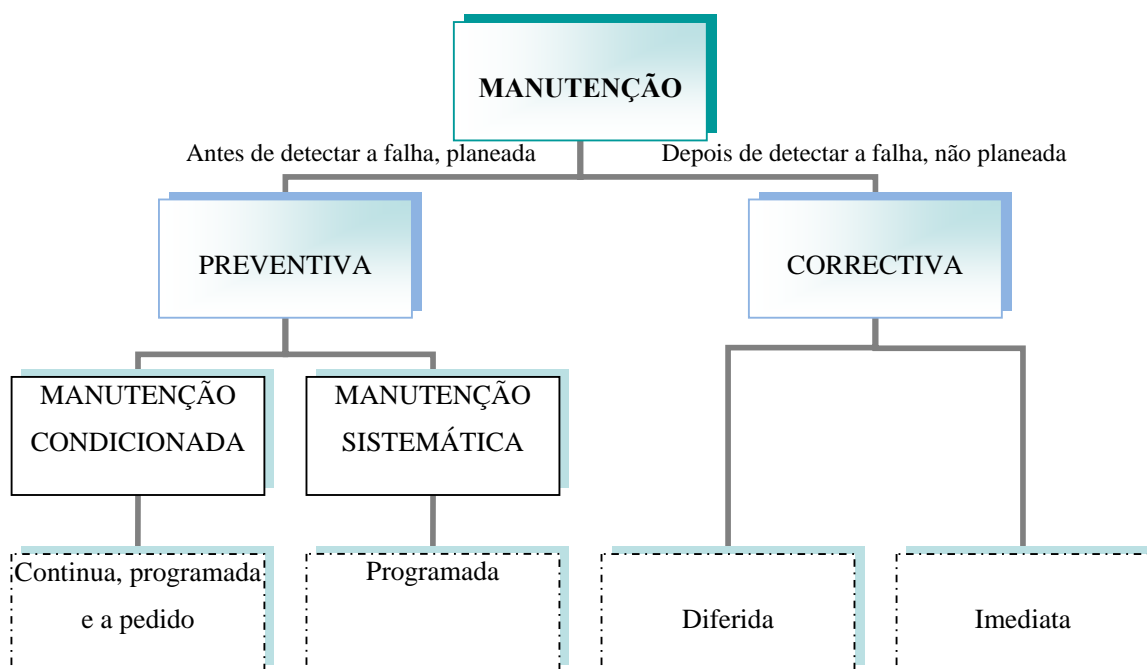


Figura 4- Representação dos tipos de manutenção (NP EN 13306)

- **Manutenção Correctiva** - manutenção realizada após a falha do sistema funcional, órgão mecânico ou componente (Fig. 4).
- **Manutenção diferida** - manutenção correctiva que não é efectuada imediatamente depois da detecção de um estado de falha, mas que é retardada de acordo com as regras determinadas (Fig. 4).
- **Manutenção preditiva** - manutenção condicionada efectuada de acordo com as previsões extrapoladas da análise e avaliação de parâmetros significativos da degradação do bem.
- **Manutenção preventiva** - manutenção realizada mediante um calendário fixo, ou de acordo com um critério pré-estabelecido que detecta ou previne a degradação de uma



sistema funcional, órgão mecânico ou componente, a fim de sustentar ou prolongar a sua vida útil (Fig. 4).

- **Manutenção programada** - manutenção preventiva efectuada de acordo com um calendário pré-estabelecido ou de acordo com um número definido de unidades de utilização.
- **Manutenção sistemática** - manutenção preventiva efectuada a intervalos de tempo preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de utilização mas sem controlo prévio do estado do bem (Fig. 4).
- **Manutenção Proactiva** - tipo de manutenção que dá ênfase à detecção e correcção das condições propícias às causas originárias das falhas.
- **Órgãos mecânicos críticos** - os que, em caso de falha, comprometem a segurança de voo, com custos de manutenção considerados avultados ou que afectam a prontidão das aeronaves.
- **Processo** - Conjunto de actividades inter-relacionadas e inter-actantes que transformam entradas em saídas.
- **Prognóstico** - análise dos sintomas ou falhas a fim de prever a condição futura e a vida útil remanescente.



ANEXO A- Conceitos e Indicadores

CONCEITOS	DIMENSÕES	INDICADORES
GESTÃO DA MANUTENÇÃO	Organização	Estrutura orgânica
		Documentação enquadrante
	Recursos Humanos	Formação e conhecimentos
		Experiência
	Modalidades de Gestão	Objectivos
		Estratégias e Tipos de Manutenção
		Execução da Manutenção
	Sistemas de Informação	Indicadores de gestão
SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO/CONTROLO DE CONDIÇÃO	Implementação	Órgãos mecânicos críticos
		Viabilidade Financeira
		Viabilidade técnica
	Configuração	Automatismo de medição (recolha dados)
		Automatismo diagnóstico (análise de possíveis falhas)
		Técnicas utilizadas (vibrações, óleo, partículas...)
	Exploração	Objectivos
		Capacidade Técnica
		Apoio técnico de outras entidades

ANEXO B- Descrição dos módulos da arquitectura e técnicas de um sistema de MC

1. Descrição dos módulos de um sistema de monitorização

A figura B1 representa esquematicamente os módulos constituintes de um modelo de SM, aplicável a qualquer técnica de monitorização.

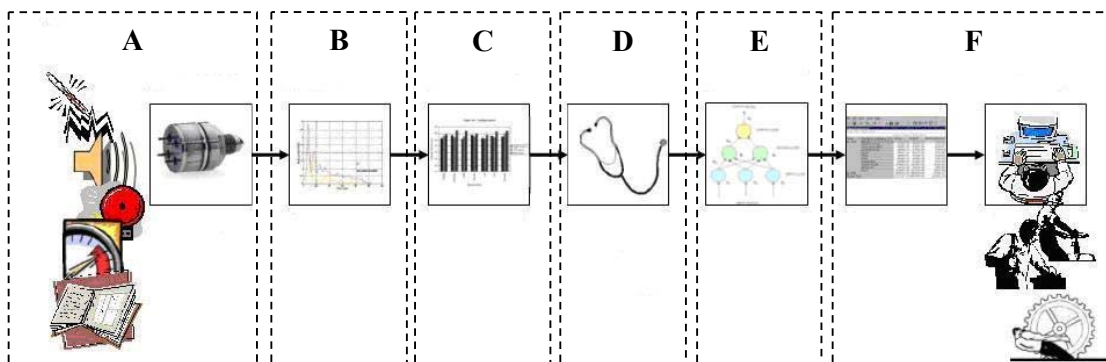


FIG B1- Esquema da arquitectura de um sistema de MC (adaptação de Marcus, 2004)

Os módulos têm designações³⁶ e descrições que a seguir se apresentam:

A- Sensor (*Sensor Module/Data Acquisition*)- As grandezas físicas são medidas e transformadas em grandezas eléctricas ou sinais digitais através de transdutores ou sensores.

B- Processamento de Sinal (*Signal Processing/Data Manipulation*)- Os dados recebidos do módulo anterior sofrem transformações de sinal (exemplo, FFT) e/ou deles é extraída a informação mais relevante (exemplo, filtragem) que possa indicar dano e diferenciar o componente onde se encontra. Dado que não existe uma técnica única para a detecção de todo o tipo de defeitos, podem existir diversas técnicas de processamento. Os dados de saída são uma representação dos dados medidos em grandezas susceptíveis de serem analisadas (exemplo, espectro de frequências).

C- Avaliação de Condição (*Condition Monitoring/State Detection*) – Nesta fase os dados recebidos são comparados com valores expectáveis. Mediante o automatismo pretendido, poderá gerar alertas a partir de valores limites previamente introduzidos e validados.

³⁶ Baseado na ISO 13374-2:2007 e (Marcus, 2004b)



D- Diagnóstico (*Diagnostic/Health Assessment*)- Indica se o sistema, subsistema ou componente se encontra em degradação, havendo lugar à emissão de um relatório sugerindo possíveis falhas. Os dados de entrada provêm dos monitores de condição e de outras fontes de informação.

E- Prognóstico (*Prognostic/Prognostic Assessment*)- Prevê a futura condição do sistema, subsistema ou componente monitorizado. Este módulo deverá ter a possibilidade de ter acesso à informação proveniente dos módulos anteriores, dependendo da aproximação do modelo.

F- Suporte à decisão (*Decision support/Advisory Generation*)- Tem a função primária de providenciar acções de manutenção ou alternativas para operação dos sistemas, subsistemas ou componentes até completar a missão. Os dados de entrada referem-se ao módulo de diagnóstico e prognóstico.

2. Descrição das técnicas de controlo de condição

No CC podem-se utilizar diversas técnicas, de acordo com o tipo de monitorização que se pretende.

a. Tipos de controlo de condição e técnicas associadas (Ferreira, 1998:6)

- Controlo das variáveis de funcionamento: carga permitida ou pressão (transdutores de força, sensores de pressão), velocidade máxima (transdutores de velocidade), temperatura (termopares, termografia);
- Controlo dos componentes e lubrificação: vibrações (acelerómetros), eficiência do lubrificante (análise químicas do óleo);
- Controlo das perdas de energia por atrito: características do atrito (transdutores de força, medidores de binário), ruído devido ao atrito (ruído, emissão acústica), temperatura devido ao atrito (termopares, termografia);
- Controlo das perdas de material por desgaste: partículas de desgaste e contaminantes do lubrificante (análises espectrométricas, detectores magnéticos de partículas, ferrografia).

b. Descrição sumária das técnicas

- **Vibrações**. A utilização desta técnica exige conhecimentos práticos sobre a teoria das vibrações e requer, conseqüentemente, treino. De aplicação prática à maioria dos componentes mecânicos, é a técnica com mais expressão na detecção de sintomas de falhas. Numa análise mais elementar, pode-se medir, em diversos pontos, o nível global de vibrações, comparando-o com valores



de referência considerados normais e inferir, a partir daí, o estado do equipamento. O grande potencial desta técnica reside no facto de se poderem detectar anomalias específicas em componentes específicos, sendo necessário, para o efeito, técnicas mais avançadas de processamento de sinal. Em motores e caixas de transmissão aeronáuticos, a necessidade de isolar a origem é tanto maior quanto a pioram a complexidade do próprio sistema.

- **Termografia.** É uma técnica que usa instrumentação que permite visualizar e medir a energia infra-vermelha (calor) emitida pelos equipamentos, detectando anomalias térmicas e transformando em tempo real uma imagem infravermelha numa imagem visível. É especialmente adequada quando essas anomalias se manifestam com elevados gradientes de temperatura como é o caso de instalações eléctricas, sendo menos usual em órgãos mecânicos.
- **Parâmetros de rendimento.** Esta técnica baseia-se na colheita de parâmetros necessários para o cálculo do rendimento com vista à verificação da sua boa operacionalidade.
- **Inspecção visual.** A inspecção visual regular faz parte de qualquer programa de manutenção condicionada. Sintomas como fugas, desaperto de componentes, fissuras, etc, são facilmente detectados com esta técnica.
- **Ultra-Sons.** Técnica apropriada para detecção de fugas de gases ou líquidos em tubos, válvulas e também para a medição de espessuras de cárteres, reservatórios, etc.
- **Análise de lubrificantes.** As técnicas de análises a lubrificantes são diversas, podendo-se caracterizar duas finalidades distintas: análises químicas para verificação das propriedades e qualidade do lubrificante (viscosidade, teor de água, acidez, oxidação, etc) e detecção de desgaste em componentes (análises espectrométricas (SOAP), Ferrografia, análise às partículas dos filtros e bujões).

c. Capacidades e limitações actuais dos sistemas

Os sistemas de monitorização, tal como se apresentam actualmente, permitem:

- O registo preciso da utilização dos órgãos mecânicos;
- A redução dos danos consequentes de falhas mecânicas devido à remoção atempada do componente danificado por alerta dos sistemas;
- O registo preciso dos parâmetros que foram excedidos na aeronave;



- Maior capacidade de diagnóstico;
- A redução da manutenção correctiva;
- A extensão de vida de componentes.

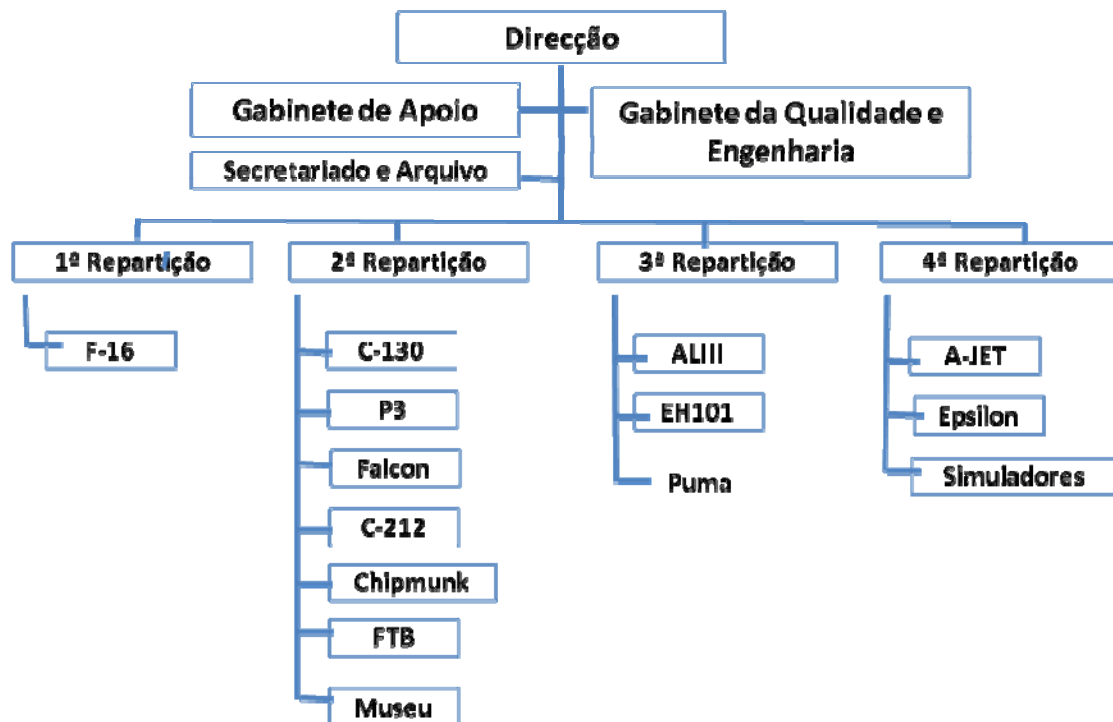
Segundo uma análise realizada (Zakrajsek, 2006?:8), persistem alguns problemas na implementação destes sistemas:

- Articulação com a manutenção e logística, devido à complexidade dos sistemas e respectiva necessidade de formação do operador, e apresentação dos dados num formato de fácil compreensão para todos;
- Poucos ganhos na manutenção (pouca redução da carga de manutenção e tempo entre revisões gerais inalterado);
- Detecção de danos limitada (limitações na detecção de defeitos nalguns componentes e alguns danos nunca são detectados ou são-no de uma forma inconsistente);
- Custos de operação mais elevados do que o previsto (processo de decisão por vezes difícil devido às técnicas de monitorização não serem específicas dos defeitos);
- Custos de aquisição (pouca uniformização dos sistemas, limitações de aplicação em helicópteros com aviónicos analógicos, rápida obsolescência, regulamentação e requisitos de integridade);
- Custos de suporte mais elevados do que o previsto (processo longo de maturidade, ajuda no diagnóstico, ajuste de limites e desenvolvimento contínuo).

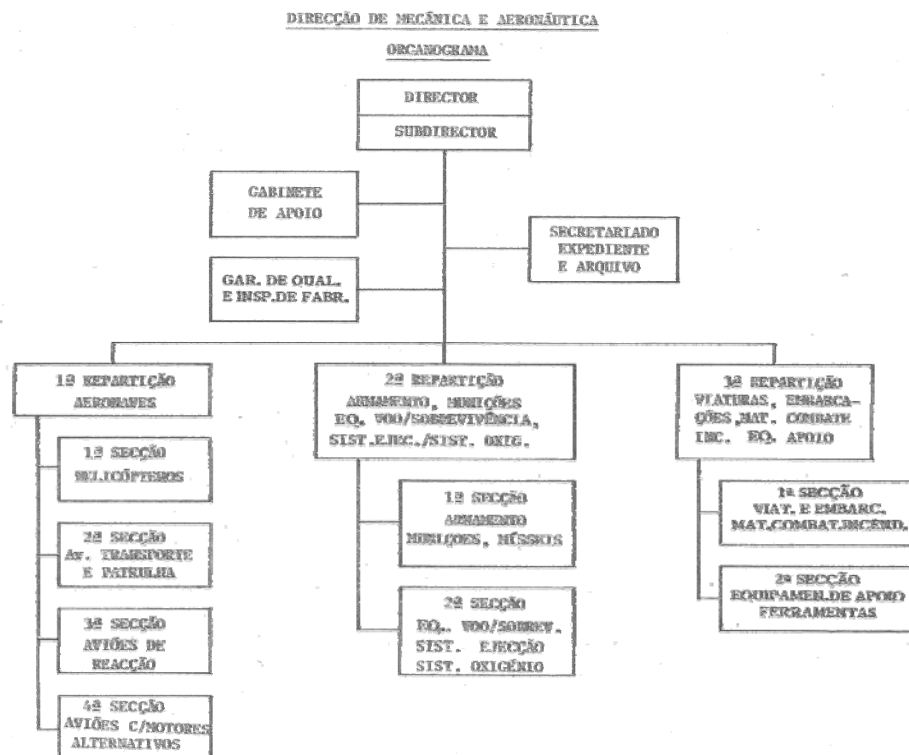


ANEXO C- Organização da gestão da manutenção

Organização Actual:



Organização segundo RFA 303-1 (CAP 10), 1986:





ANEXO D- Entrevistas realizadas

ENTREVISTA DIRECTOR DMA, MGEN ENGAER Chambel

1. Considera que, de uma forma geral, a Direcção tem conhecimentos relativos à arquitectura de um sistema de monitorização tendo em vista a Manutenção Condicionada?
2. Com que perspectiva é que estão a ser adoptados os sistemas de monitorização nas novas aeronaves?
3. Considera que a FAP está preparada, em termos de organização e conhecimentos, para explorar e tirar o máximo proveito da manutenção baseada na condição (exemplo, EH101)?
4. Que áreas deverão efectuar a análise da informação disponibilizada pelos sistemas de monitorização?
5. Para os órgãos/sistemas mecânicos mais críticos das aeronaves sem capacidade instalada de monitorização, acha pertinente a realização de uma análise de viabilidade técnica e financeira a fim de averiguar a possível implementação da Manutenção Baseada no Controlo de Condição como uma melhoria a introduzir?
6. Quem deveria promover estas iniciativas?
7. Para o caso de propostas de melhoria da manutenção devidamente fundamentadas, e dado que os custos iniciais de instrumentação são consideráveis, submeteria superiormente uma proposta desta natureza?
8. Se esta fundamentação não tiver o apoio do fabricante ou de outros operadores, considera viável o seu estudo e implementação?
9. Os novos sistemas de armas já vêm equipados com sistemas de monitorização, perspectivando-se que evoluam para o conceito da Manutenção Condicionada. Dado que o financiamento destas aquisições passa por uma terceira entidade, existem limitações em termos de decisões de gestão da manutenção?
10. Para a generalidade dos motores das nossas aeronaves e caixas de transmissão, qual é o objectivo de disponibilidade que considera que os gestores devem considerar?
11. Na sua perspectiva, o que deve ser um gestor: um especialista? Um generalista com características de gestor de equipa e com especialistas sob a sua alçada?
12. Considerando que o objectivo da Direcção é assegurar as aeronaves necessárias para cumprir as missões definidas, com o mínimo de custos, quais as ‘custos/prejuízos’ pelo não cumprimento da missão por motivos imputáveis à manutenção?



ANEXO D- Entrevistas realizadas

ENTREVISTA VOGAL EXECUTIVO DA COMISSÃO PERMANENTE DE CONTRAPARTIDAS DO MINISTÉRIO DA ECONOMIA E INOVAÇÃO

1. Para o contrato do C-295 qual o papel que terá a gestão da manutenção?
2. Qual o papel dos sistemas de monitorização nos novos contratos?
3. Têm informação relativa a como outros operadores estão a elaborar contratos?
4. Como considera que deveria ser a gestão dos sistemas de monitorização na FA?
5. Qual o modelo que defende no âmbito da reestruturação do CLAFa tendo em conta as perspectivas futuras?

ENTREVISTA DIRECTOR SUB- dDMA E CHEFE DO GRUPO TRABALHO SIG/LOGÍSTICA, COR/ENGAER Gomes

1. A reestruturação já tem identificadas competências ao nível da gestão técnica das frotas e áreas de especialização? Se sim, qual o modelo?
2. Está prevista uma área de monitorização e análise de informação de sistemas de monitorização?
3. Considera que temos recursos financeiros suficientes para a gestão da manutenção?
4. Considera que temos recursos humanos suficientes para a gestão da manutenção?
5. Qual a definição estratégica para o SI da manutenção de aeronaves?

ENTREVISTA ADJUNTO DO dDMA PROGRAMA DO EH101, COR/ENGAER Alface

1. Qual é o papel da gestão da manutenção, nos termos em que estão a ser elaborados os contratos?
2. Neste novo formato de subcontratação, como fica assegurado o controlo de aeronavegabilidade?
3. De que forma os sistemas de monitorização podem ajudar nesse controlo?
4. Têm informação relativa a como outros operadores estão a elaborar contratos?



ANEXO D- Entrevistas realizadas

ENTREVISTA À CHEFE DA ÁREA DE AC, CAP/ENGAER Teresa Cabral

- 1- Viabilidade Aquisição e Implementação em Órgãos críticos
 - a. Quais são os critérios que escolheria para seleccionar órgãos mecânicos para programas de monitorização/controlo de condição?
 - b. Saberá como fundamentar, no sentido de ser viável técnica e financeiramente, uma proposta implementação de controlo de condição?
 - c. Consideram que os sistemas de monitorização (desde sensores até à produção de diagnóstico, caso aplicável) têm um grau de fiabilidade que permitam mudar conceito de manutenção de preventiva sistemática para manutenção baseada na condição?
- 2- Exploração dos sistemas
 - a. Considera que os objectivos na exploração dos sistemas de monitorização, do ponto de vista da gestão, são claros e bem documentados?
 - b. Considerando a diversidade de programas de monitorização, incluindo parâmetros de natureza diversa, é favorável a participação dos fabricantes no diagnóstico de anomalias? Essa participação faz-se sentir, de uma forma geral, muito ou pouco?
- 3- Arquitectura
 - a. Considerando a tecnologia disponível e sua fiabilidade (exemplo HUMS), dever-se-ia apostar em instalações permanentes e diagnósticos automáticos?
 - b. Considera importante assegurar a compatibilidade entre sistemas de monitorização, e disponibilização da informação destes para o decisor através de plataformas universais (Windows, ligações a PC's, formatos descodificáveis)?

GESTÃO TÉCNICA

- 1- Recursos Humanos
 - a. Considera que existe capacidade técnica e experiência para apoiar na decisão à gestão de frota nos programas de controlo de condição?
 - b. Consideram que a monitorização da performance de motores deveria ser na AC do GQE?
 - c. Considera que existe uma resposta eficiente? Se não, quais os motivos?



ANEXO D- Entrevistas realizadas

ENTREVISTA À CHEFE DA ÁREA DE AC, CAP/ENGAER Teresa Cabral

- d. Considera que a formação nas áreas de especialização que teve foi adequada às necessidades?
- e. Em que área deveria incidir a formação considerada como essencial para quem está a gerir programas desta natureza?

2- Organização

- a. Existe uma boa coordenação com as frotas, dado que não existe regulamentação actual para as atribuições da DMA? Se não, indique o que considerem ser os principais motivos.
- b. Considerando os conceitos de manutenção existentes na generalidade das frotas, considera que há margem para implementar mais programas desta natureza?
- c. Concorde com a actual estrutura: gestão por sistemas de armas com um gabinete técnico de apoio especializado ao processo?

3- De uma forma geral, quais os aspectos que poderiam melhorar a eficiência dos programas de monitorização/controlo de condição?

4- HUMS

- a. Quais as maiores limitações do TVM e QDM?
- b. Acham que as informações (índices) estão claramente associados a acções de manutenção?
- c. Dado que o refinamento e validação de limites são da responsabilidade da Agusta Westland, que tarefas é que ficam associadas à gestão técnica?



ANEXO D- Entrevistas realizadas

ENTREVISTAS VIA E-MAIL

GESTOR EH101, TEN/ENGAER Pinto

1. Considera que os outputs do HUMS constituem bons indicadores de gestão e de fácil reflexo nas acções de manutenção e logística?
2. Consegue quantificar a dedicação necessária para explorar os dados?
3. A maturidade actual do TVM e QDM dará para alterar o conceito de manutenção para um exclusivo de manutenção baseada na condição para caixas de transmissão e motores?
4. Tem havido um bom apoio técnico por parte da Agusta-Westland na exploração do HUMS?
5. Está bem documentada a análise e exploração do HUMS (CIETP)?
6. Qual o nível de automatismo no diagnóstico de potenciais avarias?
7. Qual a formação providenciada na exploração do sistema?
8. A AW é que vai assegurar o refinamento dos limites com base em dados que vamos cedendo?

TÉCNICO DA WESTLAND HELICOPTERS LTD, Engº Mike Horsey

1. How mature is HUMS for EH101?
2. HUMS Architecture is based on Standards (MIMOSA, IEEE 1451, IEEE1232)?
3. When you think there'll be conditions to do Condition Based Maintenance for gearboxes with TVM?
4. Are you preventing a prognostic module for TVM?
5. What is the perspectives for the exploration of HUMS data, from the operators point of view?

REPRESENTANTE P&W NA EADS/CASA, Engº Walter Morris

Dado que os motores no C-295 incluem sistemas de monitorização, poderia descrever melhor esse sistema (parâmetros monitorizados, outputs, tipo de recolha de dados, etc)?



ANEXO D- Entrevistas realizadas

ENTREVISTA TAP ME, ENGº VITOR GRILO E ENGº SÃO PEDRO

1. Como está organizada a manutenção na TAP ME?
2. Que sistemas mecânicos/componentes estão em exclusivo com MC?
3. Quais estão como melhorias?
4. Quem define os programas, fabricante ou TAP ME tem espaço para iniciativas?
 - a. Recolha de dados: que instrumentos?
 - b. Processamento: automático ou diagnóstico humano? Quantitativos, orgânica e especialização;
 - c. Planeamento da manutenção: Quantificado o nº de falsos alertas? E alertas confirmados?
 - d. Feedback: funciona?
5. Para os motores que não tinham ECM, instrumentaram os motores para monitorização ou baseiam-se no registo de parâmetros e inspecções?
6. Têm valores de alerta ou estes são estabelecidos e refinados pelo operador (TAP ME)?
7. Açam que a experiência, para além do conhecimento dos sistemas que analisam, ajuda no diagnóstico?
8. Para além de diagnóstico realizam o prognóstico de avarias (previsão da próxima falha)?
9. No processo todo, desde a recolha de informação até à decisão de intervenção, qual a etapa que consideram que poderia ser optimizada?
10. Seria vantajoso adoptarem o módulo do *health management* proporcionado pela *General Electric*, ou não se justifica o investimento?
11. Quando se decide que é necessária uma substituição de um item, qual é o tempo que leva (aproximadamente) até à reposição desse item?
12. Para além dos motores têm outros órgãos ou componentes em *condition monitoring*?



ANEXO E- Recolha de informação na gestão dos SA

1. Enuncie os 3 sistemas/órgãos mecânicos que considera como sendo os mais críticos da aeronave que gere:
2. Porque considera que são críticos? (no caso de identificar mais do que um, copiar a tabela e preencher para cada órgão crítico:

No caso de falha, afectam seriamente a segurança de voo	<div>Muito</div> <div>Pouco</div>	<div><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/></div> <div>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</div>	<div>Totalmente</div>
Afectam a taxa de prontidão das aeronaves		<div><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/></div> <div>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</div>	
Sem redundância		<div><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/></div> <div>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</div>	
Sem unidades de reserva disponíveis		<div><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/><input type="checkbox"/></div> <div>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</div>	
Outro(s) motivo(s). Indique qual(is).			

Marcar com 'x' consoante cada resposta for muito pouco adequada (1) ou totalmente adequada (10).



ANEXO E- Recolha informação na gestão dos SA

3. Preencher o quadro com a informação que tiver disponível.

AERONAVE	
ÓRGÃOS MECÂNICOS Principais	
Tipo(s) de manutenção preventiva*do órgão	
Custo de aquisição (preços correntes)	
Tempo previsto de exploração (calendário)	
Tempo desde início operação (calendário)	
Potencial (caso aplicável) e/ou MTBF**	
Criticidade de acordo com a classificação acima definida	
Fiabilidade indicada pelo fabricante	
Custo de Revisão Geral (valores médios actuais)	
% do custo de Revisão Geral relativamente ao global das despesas de manutenção do Sistema de Armas	
% de reparações realizadas antes de completar o potencial de Revisão Geral	
Revisão Geral/3º escalão é realizado: (1) Na FAP; (2) Em Entidade Externa; (3)No Fabricante; (4) Exchange com o fabricante (5) Outro (Especificar)	

**ANEXO F- Questionário: Questões, Resultados e sua Análise****PARTE I- Questões e resultados**

1. Quanto tempo tem/teve de experiência acumulada como gestor de frota?

#	Answer		Response	%
1	0-2 anos		5	19%
2	2-5 anos		10	38%
3	5-10 anos		8	31%
4	Mais de 10 anos		3	12%
	Total		26	100%

2. Para sistemas/órgãos mecânicos, nomeadamente os considerados críticos, qual ou quais os objectivos de disponibilidade para unidades de reserva com o qual se orienta para a gestão?

#	Answer		Response	%
1	Todas as unidades existentes disponíveis para instalação		3	12%
2	10 a 20% das unidades instaladas no avião		9	35%
3	Não Tem		1	4%
5	Histórico de Avarias		12	46%
4	Outro. Qual?		7	27%

Outro. Qual?

Uma percentagem das unidades instaladas no avião corrigida pelo histórico de MTBFs geral entre diferentes utilizadores.

e principalmente a disponibilidade orçamental

Limite de Potencial

Em função do TAT para cada componente

TAT, Preços Reparação, Entidades Certificadas, Histórico de Avarias

Disponibilidade em aeronaves alienadas (50 aeronaves para operar 15). Idealmente, seria a relação de 10 a 20%, mas os objectivos acabam por se cumprir com uma "ginástica" de gestão que permita manter as aeronaves em operação. Actualmente, dado que o stock de material nas aeronaves alienadas está cada vez limitado, devido ao seu consumo nos últimos anos, tenta-se gerir as reparações no sentido de ter disponíveis apenas as unidades necessárias de acordo com o potencial remanescente.

Dependendo da criticidade a percentagem poderia subir para 20% -40%

3. De uma forma geral, consegue cumprir os objectivos?

#	Answer		Response	%
1	Sim		12	46%



2	Não	<div><div></div></div>	2	8%
3	Às vezes	<div><div></div></div>	12	46%
	Total		26	100%

4. Considera que a gestão da manutenção implica conhecimentos essencialmente a que níveis (1- Menor importância; 10- Maior importância)?

#	Question	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Responses	Mean
1	Aeronave e respectivos Órgãos/sistemas que a constituem.	0	0	0	0	1	2	1	6	10	6	26	8.54
2	Na área de gestão.	0	0	0	1	1	3	3	6	9	3	26	7.96
3	Processos de aprovisionamento.	0	0	0	0	4	3	5	9	5	0	26	7.31
4	Áreas específicas de conhecimentos tais como programas de seguimento de vida de fadiga, vibrações, END, fiabilidade, etc.	0	0	2	0	5	1	7	7	3	1	26	6.88
5	Outra (s). Quais?	1	0	0	0	0	1	1	1	2	3	9	7.78

Outra (s). Quais?

Legislação DL 199/97

Sistemas de Informação

Ordens Técnicas; sistemas de informação

FMEA, Gestão da Qualidade

Gestão RH

FMS, Contactos com outros utilizadores, Participação em fóruns específicos

Sistemas de Informação

Cadeia logística

Conceitos de Manutenção

Statistic	Aeronave e respectivos Órgãos/sistemas que a constituem.	Na área de gestão.	Processos de aprovisionamento.	Áreas específicas de conhecimentos tais como programas de seguimento de vida de fadiga, vibrações, END, fiabilidade, etc.	Outra (s). Quais?
Mean	8.54	7.96	7.31	6.88	7.78
Variance	1.78	2.44	1.82	3.23	8.44
Standard Deviation	1.33	1.56	1.35	1.80	2.91
Total Responses	26	26	26	26	9



5. Obteve formação no Sistemas de Armas e em particular nos Órgãos Mecânicos que gere?

#	Question	Sim	Não	Responses	Mean	Sim %	Não %
1	Sistemas de Armas	9	17	26	1.65	34,61538	65,38462
2	Órgãos Mecânicos	5	21	26	1.81	19,23077	80,76923

Statistic	Sistemas de Armas	Órgãos Mecânicos
Mean	1.65	1.81
Variance	0.24	0.16
Standard Deviation	0.49	0.40
Total Responses	26	26

6. Considera que a formação que tem é suficiente?

#	Answer	Response	%
1	Sim	8	31%
2	Não	17	65%
3	Não sei	1	4%
	Total	26	100%

7. A Manutenção Baseada no Controlo de Condição (Condition Monitoring) implica um processo que se inicia na aquisição de dados e informação até ao diagnóstico e prognóstico. Como quantifica o conhecimento que tem?

#	Answer	Response	%
1	1	1	3%
2	2	3	10%
3	3	0	0%
4	4	1	3%
5	5	5	17%
6	6	6	20%
7	7	10	33%
8	8	2	7%
9	9	2	7%
	Total	30	100%

8. Com que tipos de manutenção preventiva de Órgãos Mecânicos tem experiência de gestão (preencher percentualmente para cada tipo a fim de dar um total de 100%)?

#	Answer	Average Value	Standard Deviation	%
1	Sistemática (intervenções por calendário/horas de funcionamento/ciclos)	46.03	31.20	56,43



Programas De Manutenção De Aeronaves Com Base Em Monitorização/ Controlo De Condição

2	On condition (intervenção por indicações imediatas de inspecções visuais, ruídos, folgas)	24.97	23.20	30,61
3	Condition Monitoring (intervenção decorrente da análise de parâmetros monitorizados que indiciam falhas iminentes)	10.57	17.65	12,96
	Total	81.57	72.04	100,00

9. Para as situações de que tem experiência, considera importante a implementação de programas de optimização da manutenção, nos quais se incluiu a Manutenção Baseada no Controlo de Condição?

#	Answer	Response	%
1	Sim	22	88%
2	Não	0	0%
3	Não sei	3	12%
	Total	25	100%

10. Em caso de ter respondido "Sim", indique o(s) motivo(s) (1-Menor importância; 10-Maior importância)?

#	Question	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Responses	Mean
1	Antecipar de avarias que podendo ser críticas, afectam a segurança de voo e traduzem-se em custos avultados	0	0	0	0	1	0	3	2	4	13	23	9.04
2	Realizar uma intervenção só quando é necessária e não por ter uma periodicidade definida	0	0	0	0	2	1	3	7	6	4	23	8.13
3	Reduzir os custos de manutenção	1	0	0	0	1	1	3	6	8	2	22	7.86
4	Aumentar a disponibilidade do sistema/órgão mecânico	0	0	0	0	2	1	1	7	7	5	23	8.35
5	Caracterizar bem a utilização em serviço desse órgão	1	0	0	1	5	3	1	6	4	2	23	6.91
6	Outro. Qual?	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	5.50

Outro. Qual?

permite fazer análise de fiabilidade dos órgãos.
Melhor gestão dos recursos disponíveis

Statistic	Antecipar de avarias que podendo ser críticas, afectam a segurança de voo e traduzem-	Realizar uma intervenção só quando é necessária e não por ter uma periodicidade definida	Reduzir os custos de manutenção	Aumentar a disponibilidade do sistema/órgão mecânico	Caracterizar bem a utilização em serviço desse órgão	Outro. Qual?
-----------	---	--	---------------------------------	--	--	--------------



	se em custos avultados					
Mean	9.04	8.13	7.86	8.35	6.91	5.50
Variance	1.95	2.12	3.84	2.15	4.90	40.50
Standard Deviation	1.40	1.46	1.96	1.47	2.21	6.36
Total Responses	23	23	22	23	23	2

11. Em caso de ter respondido "Não", indique o(s) motivo(s)?

#	Answer		Response	%
1	Não se aplica na Força Aérea		0	0%
2	Não está previsto pelo fabricante		1	100%
4	Não existem verbas disponíveis		0	0%
5	Outro. Qual?		1	100%

Outro. Qual?

Aeronave sem FDR

12. Saberá como fundamentar, técnica e financeiramente, a viabilidade de uma proposta de melhoria de gestão, nomeadamente pelo Controlo de Condição?

#	Answer		Response	%
1	Sim		17	68%
2	Não		8	32%
	Total		25	100%

13. Tem conhecimento de programas de gestão de manutenções distintas do previsto pelo fabricante e utilizados por outros operadores para órgãos idênticos aos da Força Aérea?

#	Answer		Response	%
1	Sim		16	64%
2	Não		8	32%
3	Não sei		1	4%
	Total		25	100%

14. Considera que a área de Avaliação de Condição do Gabinete de Qualidade e Engenharia dá o apoio necessário à implementação e manutenção de programas desta natureza?

#	Answer		Response	%
---	--------	--	----------	---



1	Sim	<div><div></div></div>	10	40%
2	Não	<div><div></div></div>	6	24%
3	Não sei	<div><div></div></div>	9	36%
	Total		25	100%

15. Descreva o que considera estar na origem desta falta de apoio.

Text Response
A área de avaliação de condição não consegue dar todo o apoio ("chave na mão"), quer por falta de pessoal para se dedicar em paralelo a várias frotas quer por falta de informação de referência fornecida pelos fabricantes, e ainda devido à inexistência de um sistema de informação adequado.
Falta de conhecimento dos sistemas de armas, desadequação dos horizontes temporais, dispersão de atribuições.
Falta de elementos suficientes para darem apoio às necessidades de todos os sistemas de armas.
Depende das aeronaves que tivermos a falar. No caso das do Museu do Ar à apoio, nas novas há menos porque também não há liberdade por parte dos fabricantes e os sistemas, sendo mais complexos (e novos), necessitam de tempo e de cursos para poderem ser conhecidos.
Falta de conhecimento técnico relativamente aos sistemas de armas.
Falta de pessoal, falta de iniciativa, falta de integração na gestão das frotas.
O Plano de manutenção da frota é definido pela USAF.
A falta de disponibilidade de meios humanos que permita, em determinados projectos, um acompanhamento contínuo dos mesmos. Quanto ao conhecimento técnico, considero que o trabalho efectuado pelo GQE é de elevada qualidade.
Falta de objectivos a longo prazo e definição de prioridades.
Muitos sistemas de armas. Complexidade dos sistemas de armas. conhecimento dos sistemas de armas por parte do GQE



16. No âmbito da sua experiência em concreto, tem conhecimento de processos de alteração de conceito de manutenção propostos pelo fabricante e que tenham sido adoptados pela Força Aérea?

#	Answer		Response	%
1	Sim	<div><div></div></div>	19	79%
2	Não	<div><div></div></div>	3	13%
3	Não sei	<div><div></div></div>	2	8%
	Total		24	100%

17. Esse(s) processo(s) encontra(m)-se reflectido(s) no Sistema de Informação de Manutenção e Aeronaves (o antigo SIGMA MANUT ou o actual SIAGFA-Módulo de Manutenção)?

#	Answer		Response	%
1	Sim	<div><div></div></div>	11	48%
2	Não	<div><div></div></div>	3	13%



3	Alguns		6	26%
4	Não sei		3	13%
	Total		23	100%

18. Quais os maiores obstáculos, na sua opinião, à Manutenção baseada no Controlo de Condição (1-Menor importância; 10- Maior importância)?

#	Question	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Responses	Média
1	Sistemas de monitorização e diagnóstico pouco fiáveis	3	2	1	0	4	1	5	2	1	4	23	5,190476
2	Falta de conhecimentos técnicos para o diagnóstico	1	2	2	0	3	4	2	5	2	3	24	5,809524
3	Falta de verbas para o investimento	0	3	0	1	2	0	4	4	6	3	23	6,238095
4	Falta de conhecimentos para analisar a sua viabilidade	1	1	6	1	3	2	2	3	2	2	23	4,666667
5	Organização da manutenção pouco flexível para este novo conceito	1	1	1	0	1	4	3	3	7	2	23	6,238095
6	Ligação entre o abastecimento, manutenção e gestão pouco funcionais	2	2	1	0	2	3	2	4	5	2	23	5,380952
7	Não justifica o investimento pois existem modalidades de gestão mais económicas (por exemplo exchange)	3	2	4	2	4	6	0	0	0	2	23	3,666667
8	Falta de apoio do fabricante	2	0	2	4	4	4	3	1	3	1	24	4,904762
9	Não sabe	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0,428571
10	Outro. Qual?	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	5,261905

Outro. Qual?

Por frota, um misto de topdos estes factores, o volume de dados é limitada, e nem sempre existe suficiente apoio de fabricantes

Falta de confiança nos técnicos

universo escasso de órgãos ou de aeronaves

19. Considera que na organização da gestão da manutenção deveria ser por Sistemas de Armas?

#	Answer	Response	%
1	Sim	22	88%
2	Não	3	12%
3	Não sei	0	0%



	Total		25	100%
--	-------	--	----	------

20. Considera útil a centralização de tarefas comuns a todas as frotas que impliquem acumulação de experiência, tal como análise de parâmetros de performance e de monitorização, associado a órgãos mecânicos?

#	Answer		Response	%
1	Sim		22	88%
2	Não		3	12%
3	Não sei		0	0%
	Total		25	100%

21. Considera que, em termos de manutenção, se deve seguir estritamente o que se encontra previsto pelo fabricante, não havendo margem para a gestão de frota implementar programas de melhoria?

#	Answer		Response	%
1	Sim		1	4%
2	Não		24	96%
3	Não sei		0	0%
	Total		25	100%

22. Considera que o apoio técnico fornecido pelo fabricante é suficiente para assegurar a gestão técnica da frota, não havendo necessidade da FA investir em áreas especializadas para apoio ao processo de gestão?

#	Answer		Response	%
1	Sim		3	13%
2	Não		19	83%
3	Não sei		1	4%
	Total		23	100%

23. Existem fóruns de operadores para a frota e/ou órgãos mecânicos que gere?

#	Question	Sim	Não	Responses	Mean	Sim %	Não %
1	Sistema de Armas	17	5	22	1.23	77,27273	22,72727
2	Órgãos Mecânicos	9	12	21	1.57	42,85714	57,14286
4	Não sei	2	0	2	1.00	100	0

Statistic	Sistema de Armas	Órgãos Mecânicos	Não sei
-----------	------------------	------------------	---------



Mean	1.23	1.57	1.00
Variance	0.18	0.26	0.00
Standard Deviation	0.43	0.51	0.00
Total Responses	22	21	2

24. Se sim, participa nesses fóruns?

#	Question	Sim	Não	Responses	Mean	Sim %	Não %
1	Sistema de Armas	13	5	18	1.28	72,22222	27,77778
2	Órgãos Mecânicos	4	12	16	1.75	25	75

Statistic	Sistema de Armas	Órgãos Mecânicos
Mean	1.28	1.75
Variance	0.21	0.20
Standard Deviation	0.46	0.45
Total Responses	18	16

25. Considera que estes fóruns proporcionam conhecimentos úteis na perspectiva de adopção de processos de optimização da manutenção?

#	Answer	Response	%
1	Sim	22	100%
2	Não	0	0%
	Total	22	100%

26. Considerando a nossa actual organização e recursos humanos (quantidade e conhecimentos técnicos) qual a sua perspectiva para optimização da gestão da manutenção?

Text Response
Não tenho opinião formada. Depende do que for a "optimização da gestão da manutenção" ou da forma como a implementarem.
Municipar a área de engenharia de meios humanos e materiais que apoie tecnicamente o gestor de frota, com o objectivo de se obter uma maior prontidão dos meios aéreos, baixar os custos e melhorar a segurança de voo.
Separar o órgão de execução administrativa de processos de compra das funções de gestão de sistema de armas. Manter um núcleo reduzido de especialistas por sistema de armas/grupos de sistemas de armas semelhantes com funções de gestão de projectos e suporte técnico (análise/controlo de SB's e modificações, programas de seguimento de integridade estrutural, LCC, apoio à pesquisa de avaria, optimização dos programas de manutenção). Agrupar as funções transversais (NDI, Avaliação de condição, qualidade corporativa, cálculo estrutural e análise de tolerância ao dano) num órgão central que preste serviços às várias frotas.
Eiste a necessidade de maior participação / relação com fabricantes e outros utilizadores;



actualmente estas relações são muito variáveis; a questão não é tanto de organização mas mais de recursos humanos e materiais (financeiros)

Ausência de interrupções no financiamento, com vista a processos de gestão continuos. Diminuição da burocracia associada aos processos. Análise aprofundada dos procedimentos de manutenção com vista à optimização de procedimentos. Melhoria dos processos internos de handling de material.

Participação em reuniões do sistema armas, constante actualização de conhecimentos, cursos, optimização dos recursos e sequências de trabalho

Manter ou iniciar a participação em fóruns de partilha de informação com outros operadores; partilha de experiências entre os vários sistemas de armas (ex: monitorização de fadiga) e melhorar a coordenação gestão-manutenção-abastecimento.

Gestão por sistemas de armas nas Bases, apoio técnico especializado nas Direcções.

Antes mesmo de se falar em optimização de gestão, terão de ser definidos OBJECTIVOS ao nível das chefias. Só após estabelecimento de objectivos é possível a optimização da gestão no sentido do cumprimento dos mesmos. Após este passo, a optimização da gestão da manutenção, deveria começar pela re-organização da própria manutenção, ao nível das unidades bases, através da implementação de técnicas de aumento de produtividade, como sendo as técnicas LEAN. Só após a eliminação dos desperdícios, neste caso na manutenção, é possível a criação de bases no sentido de optimização dos próprios processos de gestão. NUNCA ANTES

Julgo que se tem desenvolvido muito trabalho em algumas áreas de algumas frotas, no entanto, julgo que o futuro será concentrar este conhecimento em alguns sistemas de armas e que a maioria das frotas terá um suporte completo subcontratado, pelo que uma pequena equipa de gestão apoiada será suficiente para realizar um trabalho de elevado nível.

Concentrar a gestão de manutenção por frota, com todas as valências necessárias à sua gestão

A gestão da manutenção deve ser por frota e junto das aeronaves, nas bases. As tarefas transversais administrativas devem ser centralizadas num único órgão de aquisições/reparações e as tarefas transversais técnicas num órgão de engenharia.

Considero que os quantitativos de pessoal executante são suficientes para executar as acções de manutenção actualmente necessárias. Optimizar a gestão da manutenção conduz à melhoria dos processos associados aos meios humanos e material necessários. No entanto, para proceder a este tipo de avaliação, ao nível de gestão, não existem neste momento meios humanos suficientes para proceder a este tipo de trabalho. Posso dar o exemplo do programa de extensão de vida do Alpha Jet, para o qual possuímos o conhecimento e estamos numa situação de o transferir para o fabricante para este proceder a esse estudo, por não conseguirmos garantir quaisquer meios humanos para o efectuar.

Em termos de organização haver equipas de motores, estruturas, avionicos e outras. Existir pessoas ao nível de chefe de repartição assumir a gestão de 2 a 4 frotas para coordenar as actividades das equipas.

Estabelecer a cadeia de valor e rever os processos em conformidade.

Devido à falta de recursos e à falta de investimento em formação e ao escasso universo de aeronaves para alguns sistemas de armas a optimização poderá tornar-se difícil.

necessidade de "crescimento sustentado", estabilização de pessoas (equipas de pessoas), consolidação de conhecimentos e explorar novas possibilidades (p. ex., começar em órgãos maiores e passar para órgãos pequenos). Ganhos a prazo advirão, quer a nível de conhecimentos quer a nível financeiro



PARTE II- Análise dos resultados

Da análise dos resultados do questionário, salientam-se os seguintes aspectos:

- Cerca de 69% dos inquiridos tem experiência de gestão entre os 2 e 10 anos e 19% tem menos de 2 anos de experiência;
- Cerca de 65% (Q5) não teve formação no SA que gere (geriu) e que tão pouco nos respectivos órgãos mecânicos (80%);
- Os inquiridos consideram que a formação obtida foi insuficiente (65%, Q6). A formação nos SA e respectivos órgãos mecânicos foi identificada como a mais necessária na formação do gestor (Q4) e a formação em áreas específicas ficou em quarta opção em 5, e com uma dispersão maior nas respostas;
- O conhecimento relativo à arquitectura dos sistemas de monitorização (Q7) evidencia um conhecimento acima da média, com mais de 50% das respostas acima desse patamar;
- As áreas de experiência em manutenção preventiva são destacadamente em Sistemática (56%) e em oposição em Controlo de Condição (13%) (Q8);
- Cerca de 88% (Q9) considera que existem condições para optimização (12% não sabe) e 96% (Q21) considera que existe margem para implementar programas não previstos pelos fabricantes;
- Cerca de 68% afirmaram saber fundamentar proposta de implementação de novos programas (Q12);
- Do conhecimento da maioria dos inquiridos existem programas de manutenção diferentes dos previstos pelo fabricante (64%, Q13);
- Cerca de (40%) considera que a área de AC do GQE dá o apoio necessário à gestão de frota, tendo uma maioria afirmado esse apoio, existindo uma grande percentagem que indicam não saber se este apoio existe (36%), (Q14);
- Cerca de 88% dos inquiridos consideram que a gestão deveria ser por Sistemas de Armas (Q19), com 88% a identificar a utilidade da centralização de actividades que impliquem acumulação de tarefas tal como a monitorização da Condição (Q20);
- Sobre os obstáculos à manutenção condicionada, os factores mais importantes identificados foram a falta de verbas para investimento e organização da manutenção pouco flexível para este conceito (Q18);
- Existe abertura para novos programas de manutenção não preconizados pelo fabricante (96%, Q21);



- O apoio técnico especializado que é fornecido pelo fabricante é considerado insuficiente (83%,Q22);
- Quanto a outros operadores, existem fóruns maioritariamente para SA (77,25%) do que para órgão mecânicos (motores) (42%), (Q23), com destacada participação para os SA (72%,Q24), tendo os inquiridos uma opinião unânime quanto à sua utilidade (Q25).



ANEXO G- Análise de Sistemas de Monitorização de Órgãos Mecânicos Críticos

Para a determinação do potencial do SM de cada órgão, considerou-se o nº de técnicas, automatismo e facilidade de diagnóstico.

MOTORES A REAÇÃO									
AERONAVE/ Motor	Técnicas de inspeção	Medições: 1-Período 2- Contínuo	Avaliação da condição: 1-análises manuais 2- Análise automática	Automatismo diagnóstico 1-manual 2- Automático	Diagnóstico do fabricante: 1- Com limites 2- Bons indicadores	Total de técnicas	Contribuição Total	Contribuição/Téc- nicas	
ALOUETTE III- MOTOR ARTOUSTE	Vibrações	1	1	1	2				
	Performance								
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	2				
	Boroscópicas	1	1	1	1				
	Bujões	1	1	1	1				
		4	6	4	5	4	23	5,75	
ALPHA JET MOTOR LARZAC	Vibrações	1	1	1	2				
	Performance								
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	2				
	Boroscópicas	1	1	1	1				
	Bujões	1	1	1	1				
		4	5	4	6	4	23	5,75	
EH101 RTM 322- 02/08 MK 250	Vibrações								
	Performance	2	2	2	2				
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)								
	Boroscópicas	1	1	1	1				
	Bujões	2	1	2	2				
		5	4	5	5	3	22	7,3	
FALCON 50 /MOTOR TFE 731-3-1C	Vibrações								
	Performance	2	2	2	2				
	Filtros	1	1	1	2				
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	2				
	Boroscópicas	1	1	1	1				
	Bujões	1	1	1	1				
		6	7	6	8	4	32	6,4	
F-16 F100	Vibrações								
	Performance	2	2	2	2				
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	2				
	Boroscópicas	1	1	1	2				
	Bujões	1	1	1	1				
		5	6	5	7	4	27	6,75	



TURBOHÉLICES									
AERONAVE/ Motor	Técnicas de inspeção	Medições: 1-Periodico 2- Continuo	Avaliação da condição: 1-análises manuais 2- Análise automática	Automatismo diagnóstico 1-manual 2- Automático	Diagnóstico do fabricante: 1- Com limites 2- Bons indicadores	Total de técnicas	Contribuição Total	Contribuição/Téc nicas	
CHIPMUNK/O- 360-A4M	Vibrações								
	Performance								
	Filtros	1	1	1	2				
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	1				
	Boroscópicas	1	1	1	1				
	bujões								
		3	4	3	4	3	17	5,6	
C-130/ T56-A- 15	Vibrações								
	Performance	1	1	1	1				
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	1				
	Boroscópicas	1	1	1	1				
	Bujões	1	1	1	1				
		3	4	3	3	4	21	5,25	
C295/ PW127G	Vibrações								
	Performance	1	2	2	2				
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)								
	Boroscópicas	1	1	1	2				
	Bujões	1	1	1	1				
		3	4	4	5	3	19	6,33	
EPSILON MOTOR AEIO- 540 LBD	Vibrações	1	2	1	1				
	Performance								
	Filtros	1	2	1	2				
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	2				
	Boroscópicas	1	1	1	1				
	Bujões								
		4	7	4	6	4	25	6,33	
P-3P /T-56-A14	Vibrações								
	Performance								
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	1				
	Boroscópicas	1	1	1	1				
	Bujões	1	1	1	1				
		4	5	4	4	3	16	5,3	



CAIXAS DE TRANSMISSÃO									
AERONAVE	Técnicas de inspeção	Medições: 1-Periodico 2- Contínuo	Avaliação da condição: 1-análises manuais 2- Análise automática	Automatismo diagnóstico 1-manual 2- Automático	Diagnóstico do fabricante: 1- Com limites 2- Bons indicadores	Total de técnicas	Contribuição Total	Contribuição/Técnicas	
AL III	Vibrações								
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	2				
	Boroscópicas								
	Bujões	1	1	1	1				
		2	3	2	3	2	12		6
C-130	Vibrações								
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	2				
	Boroscópicas								
	Bujões	1	1	1	1				
		2	3	2	3	2	12		6
P-3P	Vibrações								
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)	1	2	1	2				
	Boroscópicas								
	Bujões	2	1	1	2				
		3	3	2	4	2	14		7
EH101	Vibrações	2	2	2	2				
	Filtros								
	Análises de Óleo (SOAP)								
	Boroscópicas								
	Bujões	2	2	1	1				
		4	4	3	3	2	16		8

	53	65	51	65	46	
Percentagem automatismo	15,2	41,3	10,8	41,3		
Dependência RH	84,7	58,6	89,13	58,69		

Técnicas (% implementação)	%
Vibrações	26,67
Performance (motores)	45,4
Filtros	20
Análises de Óleo (SOAP)	80
Boroscópicas (motores)	100
Bujões	86,667



ANEXO H- Implementação de programas de controlo de condição

1. Considerações Organizacionais

Para garantir o sucesso de um programa de controlo de condição, é necessário o seu enquadramento numa estratégia global incluindo objectivos, metas e benefícios a alcançar, traduzidos em objectivos operacionais. O controlo de condição não é um fim em si, mas uma abordagem à manutenção que terá de se verificar se é adequada.

Existem aspectos essenciais a serem cumpridos:

- promoção do novo conceito de manutenção deverá vir da gestão de topo;
- deverá ser um grupo de pessoas designadas a desenvolver o plano e implementá-lo, definindo várias metas de curta duração (~1 ano) e uma ou duas de longo prazo (~5 anos);
- esta equipa terá de envolver os intervenientes do processo, desde mecânicos, pilotos, Direcções Técnicas num esforço de melhor conhecer os órgãos em questão e também para dar o feedback das actividades, principalmente dos resultados positivos.

2. Papel da Gestão

Neste nível é necessário ter a percepção dos benefícios do programa e como se manifestam (tabela H1):

Tabela H 1 Vantagens da Manutenção Condicionada (Cabral, 1998, 218)

Potenciais benefícios	Maneira como os benefícios aparecem
Aumento da segurança de operação	O tempo de aviso dado pelo controlo da condição permite parar a operação antes de se atingir um estado crítico.
Aumentar a disponibilidade Reduzir custos de manutenção	O tempo de serviço dos órgãos pode ser aumentado através da maximização do tempo entre revisões. A duração da revisão pode ser diminuída porque a natureza do problema é conhecida, e preparou-se a intervenção com mais antecedência.
Maior capacidade de diálogo com fabricantes e/ou reparadores, baseado nos conhecimentos obtidos com o CC	A inspecção de um equipamento novo, no fim da garantia e depois das revisões fornece bases de comparação úteis.
Melhores relações com a parte operacional devido à redução de paragens imprevistas	O tempo de aviso antes de avaria assim o permite



A fase prévia de implementação de um CC pode orientar-se pelas seguintes tarefas:

- Criação de um plano geral, enumerando os objectivos operacionais que deverão ser quantificáveis:
 - Custos médios de reparação e aquisição;
 - Prazos de entrega médios;
 - N° de avarias / Hora de voo;
 - Índice de Canibalizações;
 - Redução de pedidos de intervenção devido a avarias;
 - Redução do n° de horas extraordinárias;
 - Redução do n° de missões canceladas por avarias;
 - Ganhos obtidos pela detecção antecipada de avarias.
- Definição dos critérios para seleccionar os órgãos críticos a monitorizar e respectiva selecção (exemplo: afecta a segurança de voo; taxa de falhas elevadas, custos elevados de reparação, sem unidades de reserva disponíveis);
- Selecção dos órgãos piloto onde seja mais fácil começar: órgãos com maior criticidade e que tenha muita informação disponível (por exemplo, taxa de falhas, padrões de falha, FMEA);
- Análise da viabilidade técnica e financeira (§3) de introduzir um programa de controlo de condição;
- Desenvolvimento de uma base de dados simples, incluindo os dados medidos, históricos de manutenção, históricos de falhas, histórico de missão, informação do modelo, etc;
- Definição de indicadores que permitam caracterizar o sucesso das técnicas implementadas.

3. Viabilidade Técnica e Financeira

Pretende, fundamentalmente, verificar se se consegue com um conjunto de técnicas de controlo de condição, obter indicadores inequívocos de falhas típicas desse órgão, atendendo a que os problemas num programa de CC mais frequentes devem-se a:

- Falsos alarmes (critérios de avaliação mal definidos, concorrendo directamente para o descrédito);
- Avarias não detectadas (frequentemente devido a leituras e procedimentos incorrectos);



Para evitar esses problemas, é necessário realizar uma caracterização da utilização e fiabilidade do órgão em questão, bem como do sistema de monitorização. De acordo com

a. Análise do órgão mecânico:

- Analisar o FMEA ou, caso não se encontre disponível:
 - o Determinar o contexto de operação e as funções para a qual se destina o órgão;
 - o Determinar as possíveis falhas (incumprimento das funções);
 - o Identificar as causas do problema ou modos de falha;
 - o Determinar os prováveis sintomas para cada modo de falha;
- Propor uma tarefa de manutenção adequada a cada tipo de falha utilizando o histórico destas, probabilidade e custos para comparar a exequibilidade técnica e financeira de acções correctivas, preventivas ou preditivas.

b. Sistemas de monitorização

Pretende-se na selecção dos sistemas de monitorização determinar as técnicas mais adequadas para detectar as falhas anteriormente identificadas.

A dificuldade é substancialmente maior quando esta actividade não está prevista pelo fabricante, frequentemente como opcional.

Para vigiar as falhas procuram detectar-se os sintomas. Cada falha pode ter um ou mais sintomas, pelo que devem ser caracterizadas (tabela H2).

Tabela H 2Exemplo de identificação de avarias com sintomas

Sintoma	Temperatura	Pressão	Caudal	Vibração
Avaria				
Desequilíbrio				X
Desalinhamento veio empenado	X			X
Rolamentos	X			X
Despertos/ Folgas				X

Para as diversas técnicas é necessária informação de ligação ao órgão medido. Por exemplo, os materiais presentes num motor para permitir o diagnóstico nas análises de óleo, filtros e bujões. Para as vibrações é necessário caracterizar as frequências para se poder identificar no sinal medido. Esta informação é determinante para verificar a aplicabilidade do CC e garantir o seu sucesso.

A viabilidade financeira encontra-se ligada à viabilidade técnica, interligada de acordo com a figura H1.

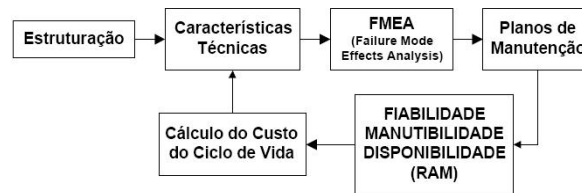


Fig.H1- Tarefas prévias à análise de aplicabilidade de controlo de condição (SIOPA, 2005?,3)

O cálculo do custo do ciclo de vida (*life cycle cost*, LCC) é uma etapa fundamental para avaliar se as alterações que um programa de controlo de condição introduz são favoráveis ou não.

Caso o LCC não se encontre disponível, poderão realizar-se uns cálculos aproximados com a seguinte informação:

- a. Definir um período de exploração da aeronave e regime de esforço anual;
- b. Definir custos de regeneração considerando o potencial, MTBF, fiabilidade;
- c. Com base no histórico, definir os custos médios de reparações (directos e indirectos decorrentes de falhas e avarias);
- d. Determinar os custos da Manutenção Condicionada:
 - Custos iniciais (Aquisição de equipamento, instalação, formação);
 - Custos dos trabalhos de inspecção e análise (MO e material) considerando os intervalos de medição e/ou análise;
 - Custos de trabalho de reposição da fiabilidade decorrentes das análises.
- e. Estimar para o mesmo período de regeneração, o agravamento dos custos pela implementação da MC;
- f. Estimar, considerando as avarias que se poderão antecipar, os benefícios decorrentes da MC e avaliar se compensam os custos.

